

MEĐIMURSKO VELEUČILIŠTE U ČAKOVCU
ODRŽIVI RAZVOJ

JURICA KUHANEC

ODNOS TROŠKOVA GRAĐENJA I KORIŠTENJA STAMBENIH ZGRADA
RAZLIČITIH ENERGETSKIH SVOJSTAVA

ZAVRŠNI RAD

ČAKOVEC, 2016.

MEĐIMURSKO VELEUČILIŠTE U ČAKOVCU
ODRŽIVI RAZVOJ

JURICA KUHANEC

ODNOS TROŠKOVA GRAĐENJA I KORIŠTENJA STAMBENIH ZGRADA
RAZLIČITIH ENERGETSKIH SVOJSTAVA

ZAVRŠNI RAD

Mentor: Ratko Matotek, pred.

ČAKOVEC, 2016.

MEĐIMURSKO VELEUČILIŠTE U ČAKOVCU
ODRŽIVI RAZVOJ

JURICA KUHANEC

COST OF CONSTRUCTION AND USE OF RESIDENTIAL BUILDINGS
WITH DIFFERENT ENERGY CHARACTERISTICS

ZAVRŠNI RAD

Mentor: Ratko Matotek, pred.

ČAKOVEC, 2016.

SAŽETAK

Osnovni cilj završnog rada je proračunati energetske optimalnu gradnju stambenih zgrada glede toplinske izolacije vanjskih zidova, te istražiti kako se kvalitetnim glavnim projektom može znatno utjecati na bolju energetske učinkovitost. U skladu s projektom zadatkom izrađen je glavni projekt, prema kojemu su izračunati energetske razredi iste obiteljske stambene zgrade (obiteljske kuće) s različitim debljinama toplinske izolacije vanjskih zidova (fasade).

Energetske učinkovitost se temelji na:

- *energetskoj obnovi,*
- *strateškim dokumentima i projektima,*
- *propisima,*
- *energetskom certificiranju i*
- *obnovljivim izvorima energije.*

Iskustva zemalja Europske unije pa tako i Republike Hrvatske pokazala su da energetske učinkovita gradnja i obnova trenutačno predstavljaju veliki izazov u građevinarstvu i pratećim industrijama zbog nedostatka stručno osposobljenih građevinskih radnika, institucionaliziranih shema obrazovanja, kao i slabe potražnje za niskoenergetskim i pasivnim zgradama. Gradnja novih zgrada te obnova postojećih na razinu niskoenergetskih ili pak pasivnih, zahtjeva promjene postojećih programa izobrazbe, te razvoj novih specijaliziranih zanimanja.

Ključne riječi: *troškovi građenja, optimalna gradnja, energetske obnova, potrošnja toplinske energije, niskoenergetske i pasivna zgrada*

SADRŽAJ

1. UVOD	5
2. PREGLED VAŽEĆE REGULATIVE	7
2.1. Energetska obnova	8
2.2. Propisi iz područja energetske učinkovitosti	9
2.3. Energetsko certificiranje zgrada	10
2.4. Obnovljivi izvori energije (OIE)	12
3. TOPLINSKA ZAŠTITA U ZGRADAMA	13
3.1. Građevni elementi vanjske ovojnice	14
3.2. Vanjski zid	14
3.3. Krov i strop prema negrijanom tavanu	17
3.4. Pod na tlu i pod iznad otvorenog ili negrijanog prostora	19
3.5. Toplinski most	20
3.6. Prozori, staklene stijene i vanjska vrata	22
4. ANALIZA TEHNIČKIH KARAKTERISTIKA PROJEKTA	24
5. FINACIJSKE I DRUGE ANALIZE PROJEKTA	38
5.1. Financijske i druge analize stambene zgrade različitih svojstava	38
5.2. Proračun građevnih dijelova zgrade	43
6. ZAKLJUČAK	47
7. LITERATURA	48
Popis slika	49
Popis tablica	50
Opis znakovlja	51

1. UVOD

Tema završnog rada je analiza troškova građenja i korištenja stambenih zgrada različitih energetske svojstva. Troškovi građenja se u ovom radu odnose na radove izvedbe fasade, dok se troškovi korištenja odnose na potrebnu godišnju toplinsku energiju za grijanje. Prema važećoj regulativi će se odrediti minimalni uvjeti za postizanje toplinske zaštite stambenih zgrada, te analizirati odnos troškova izvedbe fasade različitih debljina toplinske izolacije prema troškovima potrebne godišnje toplinske energije za grijanje.

Energetsko svojstvo zgrade je izračunata ili izmjerena količina energije potrebna za zadovoljavanje potreba za energijom prilikom karakteristične uporabe zgrade, a koja među ostalim uključuje energiju koja se koristi za grijanje, hlađenje, ventilaciju, pripremu tople vode i osvjjetljenje [1].

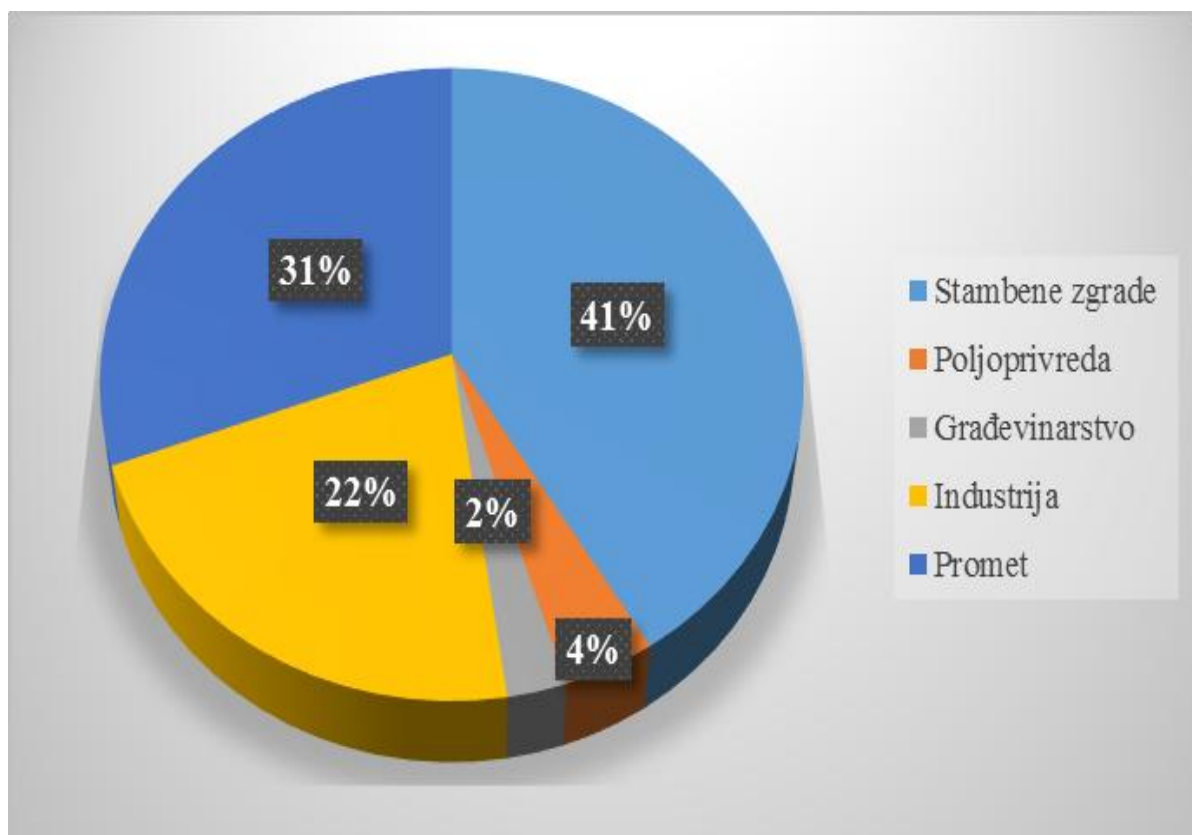
Građenje je izvedba građevinskih i drugih radova (pripremni, zemljani, konstruktorski, instalaterski, završni te ugradnja građevnih proizvoda, opreme ili postrojenja) kojima se gradi nova građevina, rekonstruira, održava ili uklanja postojeća građevina [1].

Zgrada je zatvorena i/ili natkrivena građevina namijenjena boravku ljudi, odnosno smještaju životinja, biljaka i stvari. Zgradom se ne smatra pojedinačna građevina unutar sustava infrastrukturne građevine [1].

Energetska učinkovitost u zgradarstvu i održiva gradnja te primjena obnovljivih izvora energije danas su prioriteti suvremenog graditeljstva i energetike. Zakonska regulativa i direktive Europske unije stavljaju naglasak na mjere energetske učinkovitosti, obnovljive izvore energije, zaštitu okoliša i održivu upotrebu prirodnih resursa za sve ekonomske aktivnosti. Održivoj potrošnji energije treba dati prioritet racionalnim planiranjem potrošnje, te implementacijom mjera energetske učinkovitosti u sve segmente energetskog i ekonomskog sustava Republike Hrvatske.

Zbog velike potrošnje energije u zgradama, ali i najvećeg potencijala energetske uštede te zaštite okoliša, energetska učinkovitost, niskoenergetska i pasivna gradnja danas postaju prioriteti suvremene arhitekture i energetike. Zgrade su prepoznate kao najveći potencijal za smanjenje ukupne potrošnje energije, čime se direktno utječe na ugodniji i kvalitetniji boravak u zgradi, duži životni vijek zgrade, te doprinosi zaštiti okoliša [2].

Na slici 1 je prikazan udio potrošnje konačne energije u zgradarstvu u odnosu prema ostalim sektorima. Tako, sektor stambenih zgrada u Hrvatskoj troši 41% ukupne konačne potrošnje energije. Zatim slijedi sektor prometa s udjelom od 31%, a zajedno sa sektorom stambenih zgrada ima udio od visokih 72%. Industrija sudjeluje s 22%, te zajedno sa sektorima stambenih zgrada i prometa ima udio od 94%. Preostalih 6% odnosi se na poljoprivredu (4%) i građevinarstvo (2%) [2].

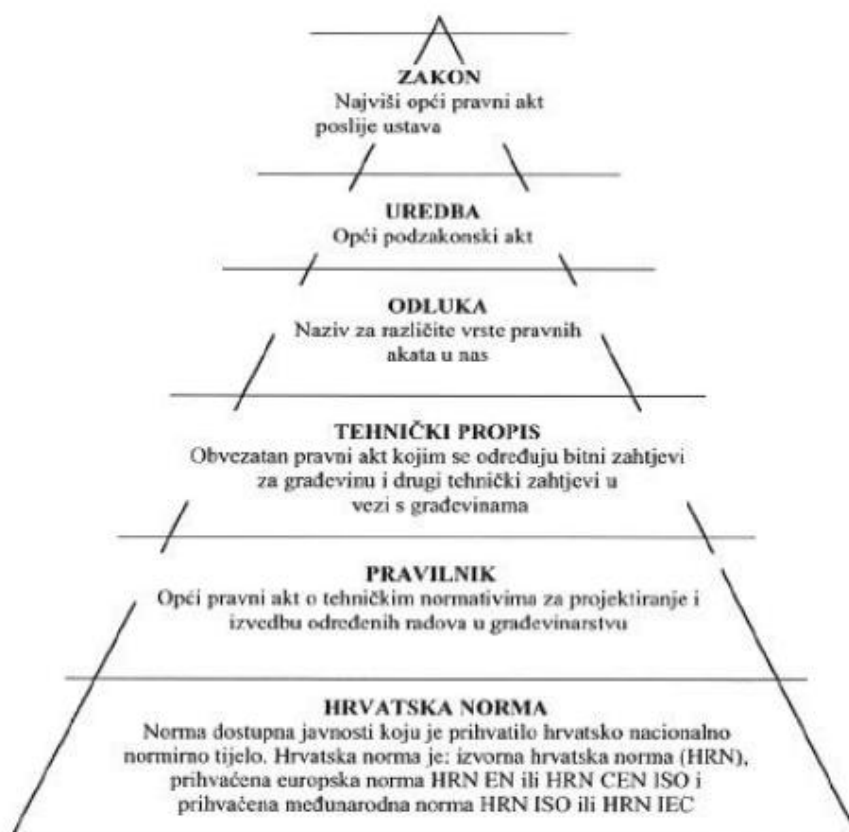


Slika 1. *Udio potrošnje konačne energije u zgradarstvu*

2. PREGLED VAŽEĆE REGULATIVE

U ovom poglavlju će se obraditi pregled važeće regulative koja se odnosi na temu rada. Općenito regulativu u Republici Hrvatskoj čine zakoni, uredbe, odluke, tehnički propisi, pravilnici i hrvatske norme. Osim regulative obradit će se energetska obnova, energetske certificiranje zgrada, kao i obnovljivi izvori energije.

Na slici 2 je prikazana sistematizacija pravnih akta po važnosti u Republici Hrvatskoj. Najviši opći upravni akt po hijerarhiji poslije ustava je zakon, dok je najniži hrvatska norma. Nakon zakona redom slijede uredbe, odluke, tehnički propisi i pravilnici [3].



Slika 2. Sistematizacija pravnih akta po važnosti [3]

2.1. Energetska obnova

Energetskom obnovom zgrade, odnosno povećanjem energetske učinkovitosti, postižu se značajne financijske uštede. Provedba energetskog pregleda prvi je korak u energetskoj obnovi zgrade. Pod pojmom energetska obnova podrazumijeva se između ostalog povećanje toplinske zaštite vanjske ovojnice zgrade, zamjena vanjske stolarije te zamjena ili unaprjeđenje sustava grijanja. Također, u obnovu je moguće uključiti i mjere korištenja obnovljivih izvora energije te prilagodbu unutarnje rasvjete, kao i implementaciju sustava za centralno upravljanje sustavom grijanja i hlađenja. Energetski učinkovite zgrade pružaju veći standard stanovanja, a obnovom po načelima energetske učinkovitosti mogu se ostvariti uštede na režijama od 30 do 60%. U konačnici smanjenje potrošnje energije, posebno fosilnih goriva dovodi do smanjenja emisije ugljičnog dioksida (CO_2) što znači manje zagađenje okoliša, a time i bolju zaštitu zdravlja stanovništva [4].



Slika 3. Energetska obnova zgrada [4]

2.2. Propisi iz područja energetske učinkovitosti

U nastavku je naveden pregled važeće regulative, koja je dostupna na vrlo ažurnoj internetskoj stranici Ministarstva graditeljstva i prostornoga uređenja (www.mgipu.hr), a odnosi se na područje energetske učinkovitosti.

Zakoni

- Zakon o energetske učinkovitosti („Narodne novine“ broj 127/14.)
- Zakon o gradnji („Narodne novine“ broj 153/13.)

Uredbe

- Uredba o ugovaranju i provedbi energetske usluge u javnom sektoru
(„Narodne novine“ broj 11/15.)

Pravilnici

- Pravilnik o energetske pregledima građevina i energetske certificiranju zgrada
(„Narodne novine“ broj 81/12., 29/13., 78/13.)
- Pravilnik o uvjetima i mjerilima za utvrđivanje sustava kvalitete usluga i radova za certificiranje instalatera obnovljivih izvora energije - fotonaponskih sustava
(„Narodne novine“ broj 56/15.)
- Pravilnik o uvjetima i mjerilima za utvrđivanje sustava kvalitete usluga i radova za certificiranje instalatera obnovljivih izvora energije - solarnih toplinskih sustava
(„Narodne novine“ broj 33/15, 56/15.)
- Pravilnik o uvjetima i mjerilima za utvrđivanje sustava kvalitete usluga i radova za certificiranje instalatera obnovljivih izvora energije - manjih kotlova i peći na biomasu
(„Narodne novine“ broj 39/15, 56/15.)
- Pravilnik o uvjetima i mjerilima za utvrđivanje sustava kvalitete usluga i radova za certificiranje instalatera obnovljivih izvora energije - plitkih geotermalnih sustava i dizalica topline
(„Narodne novine“ broj 56/15.)

- Pravilnik o uvjetima i načinu izdavanja potvrde hrvatskim državljanima i pravnim osobama za ostvarivanje prava pružanja usluga regulirane profesije energetskog certificiranja i energetskog pregleda zgrade u državama ugovornicama Ugovora o Europskom ekonomskom prostoru

(„Narodne novine“ broj 47/14.)

- Pravilnik o energetskom pregledu zgrade i energetskom certificiranju

(„Narodne novine“ broj 48/14., 150/14.)

- Pravilnik o sustavnom gospodarenju energijom u javnom sektoru

(„Narodne novine“ broj 18/15.)

- Pravilnik o kontroli energetskog certifikata zgrade i izvješća o redovitom pregledu sustava grijanja i sustava hlađenja ili klimatizacije u zgradi

(„Narodne novine“ broj 73/15.)

- Pravilnik o osobama ovlaštenim za energetsko certificiranje, energetski pregled zgrade i redoviti pregled sustava grijanja i sustava hlađenja ili klimatizacije u zgradi

(„Narodne novine“ broj 73/15.)

- Pravilnik o uvjetima i načinu izdavanja potvrde osobama iz država ugovornica Ugovora o europskom gospodarskom prostoru za pružanje usluge energetskog certificiranja i energetskog pregleda zgrade u Republici Hrvatskoj te priznavanju inozemnih stručnih kvalifikacija za pružanje usluga energetskog certificiranja i energetskog pregleda zgrade

(„Narodne novine“ broj 77/15.)

Tehnički propisi

- Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama

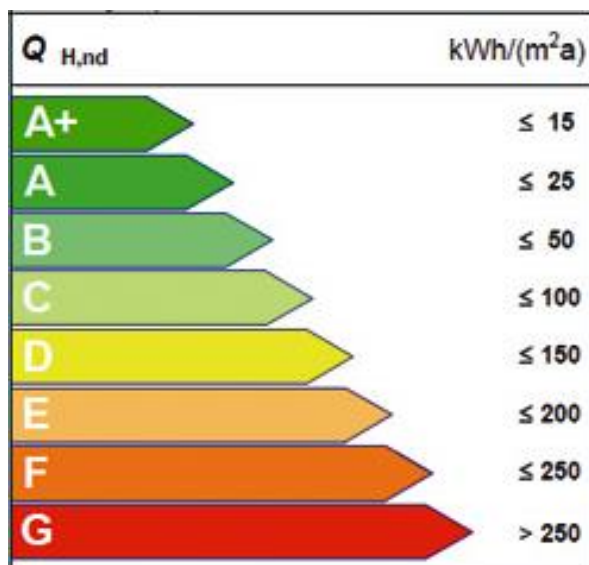
(„Narodne novine“ broj 128/15.)

2.3. Energetsko certificiranje zgrada

Energetski certifikat je dokument kojim se određuje energetski razred zgrade, prikazuju energetske karakteristike zgrade i daju informacije o potrošnji energije i stanju zgrade u odnosu na energetske učinkovitost. Energetski certifikat daje i prijedlog mjera za isplativo

poboljšanje energetske karakteristika zgrade kako bi se smanjila potrošnja energije. Uštedom energije i korištenjem obnovljivih izvora energije štede se osobna sredstva, a energetski razred zgrade može utjecati na njenu tržišnu vrijednost. Ovisno o potrošnji energije zgrade se svrstava u jedan od 8 energetske razreda: A+, A, B, C, D, E, F i G.

Energetski certifikat za postojeće zgrade obvezno sadrži i prijedlog ekonomski opravdanih mjera za poboljšanje energetske svojstva zgrade, koje se temelje na prethodno provedenom energetskom pregledu građevine. dok za nove zgrade sadrži preporuke za korištenje zgrade vezano na ispunjenje temeljnog zahtjeva gospodarenja energijom i očuvanja topline. Energetsko certificiranje regulirano je Zakonom o gradnji („Narodne novine“ broj 153/13.), Pravilnikom o osobama ovlaštenim za energetsko certificiranje, energetski pregled zgrade i redoviti pregled sustava grijanja i sustava hlađenja ili klimatizacije u zgradi („Narodne novine“ broj 73/15.), Pravilnikom o energetskom pregledu zgrade i energetskom certificiranju („Narodne novine“ broj 48/14, 150/14.) i Pravilnikom o kontroli energetskog certifikata zgrade i izvješća o redovitom pregledu sustava grijanja i sustava hlađenja ili klimatizacije u zgradi („Narodne novine“ broj 73/15.). Na slici 4 su prikazani energetski razredi za stambene zgrade.



Slika 4. Energetski razredi za stambene zgrade [5]

Svrha energetskog certificiranja je pružanje informacija vlasnicima i korisnicima zgrada o energetskom svojstvu zgrade ili njezine samostalne uporabne cjeline i usporedba zgrada u odnosu na njihova energetska svojstva, učinkovitost njihovih energetske sustava, te kvalitetu i svojstva ovojnice zgrade [4].

2.4. Obnovljivi izvori energije (OIE)

Ciljevi Europske unije je do 2020. godine smanjenje potrošnje toplinske energije za grijanje i emisije CO₂ za 20%, te povećanje udjela obnovljivih izvora energije za 20%. Obnovljivi izvori energije su vjetar, sunčeva energija, vodna i plimna snaga, te geotermalna energija i biomasa. Viši udio obnovljivih izvora energije u konačnoj potrošnji omogućava smanjenje proizvodnje stakleničkih plinova (emisija CO₂), ali i manju ovisnost o uvezenoj energiji. Razvoj industrije obnovljivih izvora energije potiče tehnološke inovacije i otvaranje novih radnih mjesta u Europi. U sektoru zgradarstva na razini Europske unije potiče se uporaba energije iz obnovljivih izvora u novim i obnovljivim zgradama.

U pogledu hrvatskih planova za 2020. godinu, u skladu s Direktivom 2009/28/EZ o obnovljivoj energiji, Hrvatska se obvezala dostići udio od 20% energije iz obnovljivih izvora u konačnoj bruto potrošnji energije, što je uključeno u Strategiju energetskog razvitka Republike Hrvatske.

Hrvatska je ispunila obaveze proizašle iz spomenute Direktive, među kojima je i osiguranje programa certificiranja ili istovrijedni program kvalifikacije za instalatere sustava obnovljivih izvora energije:

- fotonaponskih sustava,
- solarnih toplinskih sustava,
- plitkih geotermalnih sustava i dizalica topline te
- manjih kotlova i peći na biomasu [4].



Slika 5. *Obnovljivi izvori energije [6]*

3. TOPLINSKA ZAŠTITA U ZGRADAMA

Nedovoljna toplinska zaštita dovodi do hladnih obodnih konstrukcija, oštećenja nastalih kondenzacijom (vlagom), povećanih toplinskih gubitaka zimi te pregrijavanja prostora ljeti. Posljedice su onečišćenja konstrukcije te neudobno i nezdravo stanovanje i rad. Zagrijavanje takvih prostora zahtjeva veću količinu energije što dovodi do povećanja troškova korištenja i održavanja prostora, ali i do većeg zagađenja okoliša.

Toplinska zaštita zgrada jedna je od mjera povećanja energetske učinkovitosti, koja ima najveći utjecaj na ukupnu energetske bilancu zgrade. Poboljšanje toplinske izolacijskih gubitaka topline građevine je prosječno od 30 do 80%. Na slici 6 je prikazana obnova postojeće zgrade ventiliranom fasadom radi smanjenja toplinskih gubitaka.



Slika 6. *Toplinska izolacija [7]*

Dobro poznavanje toplinskih svojstava građevinskih materijala jedan je od preduvjeta za projektiranje energetski učinkovitih zgrada. Toplinski gubici kroz građevni element ovise o sastavu elementa, orijentaciji i koeficijentu toplinske provodljivosti. Bolja toplinska izolacija postiže se ugradnjom materijala niske toplinske provodljivosti, odnosno visokog toplinskog otpora. Toplinski otpor materijala povećava se s obzirom na debljinu materijala. Koeficijent prolaska topline (oznaka U) je količina topline koju građevni element gubi u 1 sekundi po m^2 površine kod razlike temperature od 1 K, izraženo u W/m^2K . Koeficijent U je bitna karakteristika vanjskog elementa konstrukcije te značajan u analizi ukupnih toplinskih gubitaka (kWh/m^2), a time i u potrošnji energije za grijanje [2].

3.1. Građevni elementi vanjske ovojnice

Energetskom obnovom postojećih zgrada, naročito onih građenih prije 1980. godine, moguće je postići uštedu u potrošnji toplinske energije preko 60%. Osim zamjenom prozora i vrata, najveće uštede mogu se postići izolacijom vanjskog zida. Dodatna ulaganja u toplinsku izolaciju pri obnovi već dotrajale fasade kreću se u ukupnoj cijeni sanacije fasade od 20 do 40%, što daje povoljne ekonomske rezultate u usporedbi s dugoročnim uštedama koje se postižu.

Kod gradnje novih zgrada važno je već u fazi idejnog projektiranja u suradnji s projektantom predvidjeti sve što je sve potrebno kako bi se dobila kvalitetna i optimalna energetska učinkovita zgrada.

U svrhu navedenoga je potrebno:

- analizirati lokaciju, orijentaciju i oblik zgrade,
- primijeniti visoki nivo toplinske izolacije cijele vanjske ovojnice i izbjegavati toplinske mostove,
- iskoristiti toplinske dobitke od sunca i zaštititi se od pretjeranog osunčanja i
- koristiti energetska učinkoviti sustav grijanja, hlađenja i ventilacije te ga kombinirati s obnovljivim izvorima energije [2].

3.2. Vanjski zid

Toplinsku izolaciju vanjskog zida, u pravilu, treba izvoditi dodavanjem novog toplinsko-izolacijskog sloja s vanjske strane, a iznimno s unutarnje strane zida. Izvedba toplinske izolacije s unutarnje strane zida nepovoljna je s građevinsko-fizikalnog stajališta, a često je i skuplja zbog potrebe dodatnog rješavanja problema difuzije vodene pare, strožih zahtjeva u pogledu sigurnosti protiv požara, gubitka korisnog prostora i dr. Postava toplinske izolacije s unutarnje strane zida je fizikalno lošija, jer iako se postiže poboljšavanje izolacijske vrijednosti zida, značajno se mijenja toplinski tok u zidu i osnovni nosivi zid postaje hladniji. Zbog toga posebnu pozornost treba posvetiti izvedbi parne brane, kako bi se izbjeglo nastajanje kondenzata i pojave pljesni. Također, toplinski treba izolirati i dio pregrada koje su u kontaktu s vanjskim zidom. Sanacija postojećeg vanjskog zida izvedbom izolacije s

unutarnje strane izvodi se iznimno kod zgrada pod zaštitom, odnosno kada se žele izbjeći promjene na vanjskom pročelju zgrade zbog njezine povijesne vrijednosti [2].

Na slici 7 je prikazana izvedba toplinske izolacije vanjskog zida s unutarnje strane.



Slika 7. Izvedba toplinske izolacije vanjskog zida [8]

Kod izvedbe toplinsko-izolacijskog sloja s vanjske strane zida moguća su dva rješenja završnog sloja, koji štiti toplinsko-izolacijski sloj i ostatak zida od vanjskih atmosferskih utjecaja. Prvo rješenje karakterizira izvedba vanjskih zaštitnog sloja punoplošnim lijepljenjem na toplinsko-izolacijski sloj (tzv. kompaktna fasada). Kod drugog rješenja zaštitni sloj u obliku pojedinačnih elemenata učvršćenih na odgovarajuću potkonstrukciju na način da između obloge i sloja toplinske izolacije ostane sloj zraka, koji se ventilira prema van (tzv. ventilirana fasada). Djelotvorni toplinsko-izolacijski sloj završava sa slojem za provjetravanje, a zrak treba cirkulirati i isušiti vlagu.

Ovisno o vrsti žbuke, kompaktne fasade mogu biti tankoslojne i debeloslojne. Toplinsko-izolacijski materijal se lijepi za podlogu (kompaktni zid) polimerno-cementnim ljepilom ili se postavlja mehaničkim pričvrsnicama (tzv. tiple). Ploče ili lamele se postavljaju s horizontalnim pomakom u odnosu na prethodni red, a uglove i otvore je potrebno pažljivo obraditi kao cjelokupnu vanjsku površinu na način da se nanosi polimerno-cementno ljepilo i utiskuje tekstilno-staklena mrežica (alkalno otporna). Ponovno se zaglađuje polimerno-cementiranim ljepilom. Nakon sušenja nanosi se impregnirajući premaz kako bi se ujednačila upojnost površine.

Kao završni sloj za tankoslojni sustav koriste se silikatni, silikonski, silikonsko-silikatni ili akrilatni završni sloj minimalne debljine zrna 1,5 mm u 2 nanošenja. Kod debeloslojnog

sustava koristi se mineralna žbuka debljine 15 mm i završno dekorativni vezivni sloj između toplinsko izolacijskog materijala i lagane mineralne žbuke.

Industrija građevinskih materijala nudi mnogo varijanti cjelovitih sustava ovih dvaju načina toplinske izolacije zidova, pri čemu za oba rješenja debljina toplinsko-izolacijskog sloja ne bi trebala biti manja od 10 do 12 cm, čime bi se vrijednosti koeficijenta prolaska topline zida U smanjila na od 0,25 do 0,35 W/m²K [2].

U nastavku je naveden troškovnički opis izvedbe fasade proizvođača Knauf s opisanim svim elementima izolacije vanjskog zida kao i načinu izvođenja. Izvedba tankoslojnog kontaktnog sustava fasade s pločama kamene vune, karakteristika kao Knauf Insulation FKD-S Thermal, gustoće 100-110 kg/m³, $\lambda = 0,035$ W/mK, ili FKD-N Thermal, gustoće 95-100 kg/m³, $\lambda = 0,034$ W/mK, debljine određene fizikalnim proračunom. U cijenu je potrebno uračunati dobavu materijala, te izradu fasade prema uputama proizvođača. Faze izrade: Postavljanje aluminijskog perforiranog takozvanog sockel-profila jednake širine kao debljina ploče od kamene vune. Pričvršćivanje izvesti ne hrđajućim vijcima na razmaku svakih od 40 do 60 cm. Nanošenje polimerno-cementnog ljepila trakasto po rubovima i točkasto po sredini ploča (min 40% ravnomjerna pokrivenost ploče). Ploče se 3 dana nakon lijepljenja dodatno mehanički pričvršćuju plastičnim ili metalnim (u slučaju viših zahtjeva u odnosu na protupožarne zahtjeve, velike brzine i nalete vjetra, trusna područja i sl.) pričvršnicama (6-8 kom/m²) prema W shemi. Na uglove građevine postavljaju se aluminijski ili PVC kutni profili oko otvora s tim da je na dijagonalama otvora potrebno kao dodatno ojačanje postaviti mrežicu veličine 20x40 (30x50) cm. Na ploče od kamene vune nanosi se polimerno-cementno ljepilo u koje utiskujemo certificiranu mrežicu (140-160 grama/m²) od staklenih vlakana, alkalno otpornu, s preklopima od 10 cm, koja se prekriva nanošenjem 1-2 mm drugog sloja polimerno-cementnog lijepila. Nakon sušenja od 10 do 14 dana, a prije izvođenja završnog sloja potrebno je nanijeti impregnirajući predpremaz. Kao završni sloj preporuča se silikatna ili silikonska žbuka min. 1,5 mm strukture zrna, odnosno najviše do 4,0 mm. Sve radove izvesti prema uputama proizvođača komponenti certificiranog sustava sukladno HRN EN 13500 ili ETAG004 [5].

Na slici 8 su prikazani elementi vanjskog zida, odnosno slojevi fasade, s detaljima načina ojačanja ugla zgrade i uglova oko otvora (prozori i vrata).



Slika 8. Elementi vanjskog zida [5]

3.3. Krov i strop prema negrijanom tavanu

Iako je udio krova zastupljen sa svega od 10 do 20% u ukupnim toplinskim gubicima u zgradi, ima posebno važnu ulogu u kvaliteti i standardu stanovanja. Štiti zgradu od kiše, snijega, hladnoće i vrućine. Najčešći oblik na obiteljskim i manjim stambenim zgradama je kosi krov. Vrlo često se prostor ispod kosog krova namjenjuje za stanovanje iako nije adekvatno toplinski izoliran. Kod takvih situacija pojavljuju se veliki toplinski gubici zimi, ali i još veći problem pregrijavanja ljeti. Ako krov nije toplinski izoliran, kroz njega može proći i 30% topline. Naknadna toplinska izolacija krova je jednostavna i ekonomski vrlo isplativa, jer je povratni period investicije od 1 do 5 godina. Za toplinsku izolaciju kosih krovova treba koristiti nezapaljive parapropusne toplinske izolacijske materijale, kao što je npr. kamena vuna. Detalje spoja toplinske izolacije vanjskog zida i krova treba riješiti bez toplinskih mostova. Ako prostor ispod kosog krova nije grijan tj. nije namijenjen za stanovanje, toplinsku izolaciju treba postaviti na strop zadnje etaže prema negrijanom tavanu. Preporučljiva debljina toplinske izolacije kosog krova iznosi od 16 do 20 cm. Izolacija se treba postaviti u dva sloja. Jedan sloj se postavlja između rogova, kako bi se spriječili

toplinski mostovi. Toplinska izolacija se s donje strane najčešće zatvara gipskartonskim pločama ili drvenom oblogom [2].

Na slici 9 prikazana je izvedba toplinske izolacije kosog krova s gornje strane.



Slika 9. Izvedba toplinske izolacije krova [9]

Ravni krov je najviše izložen atmosferskim utjecajima od svih vanjskih elemenata zgrade. Zato je vrlo važno kvalitetno izolirati toplinskom i hidroizolacijom, te pravilno riješiti odvodnju oborinskih voda. Ravni krov prema namjeni može biti riješen kao:

- prohodni,
- neprohodni i
- tzv. zeleni krov.

U skladu s namjenom ravnog krova izvodi se završna obrada.

Na slici 10 je prikazana izvedba toplinske izolacije ravnog krova od ekstrudiranog polistirena (XPS).



Slika 10. *Izvedba toplinske izolacije ravnog krova [10]*

Terasa se može izvesti ozelenjenim krovom, odgovarajuće hidro i toplinski izoliranim prema stambenom prostoru s donje strane. U tom slučaju se povećava broj potrebnih slojeva i njihova ukupna debljina. Ovisno o vrsti bilja određuje se potrebna dubina zemlje, a bitno je spriječiti prodor korijenja do sloja hidroizolacije, a vlage do toplinske izolacije. Ozelenjeni krov dobro zadržava toplinu, akumulira ju u slojevima zemlje i na taj način ostvaruje stalnu temperaturu završnog sloja, ljeti i zimi [2].

3.4. Pod na tlu i pod iznad otvorenog ili negrijanog prostora

Konstrukcije poda na tlu razlikuju se od podnih konstrukcija prema negrijanom prostoru po nosivoj betonskoj podlozi i hidroizolaciji. Toplinski gubici prema tlu iznose do 10% od ukupnih toplinskih gubitaka. Kod novogradnji se pod na terenu treba toplinski izolirati što većom debljinom toplinske izolacije, dok je kod postojećih zgrada takva mjera uglavnom ekonomski neisplativa, zbog većih građevinskih zahvata koje je prate. Međutim, ekonomski vrlo isplative mjere su toplinska izolacija stropne konstrukcije prema negrijanom tavanu, te podne konstrukcije prema negrijanom podrumu. Također, potrebno je toplinski zaštititi i podne konstrukcije iznad otvorenih prolaza. Kod postave toplinske izolacije važno je toplinski

izolirati cijelu vanjsku ovojnicu bez prekida izolacije, kako bi se utjecaj toplinskih mostova smanjio na minimum.

Pod na tlu potrebno je izolirati s minimalno 10 cm toplinske izolacije. Iako su gubici relativno mali u usporedbi s gubicima drugih dijelova konstrukcije, temperatura podne plohe slična temperaturi unutrašnjeg prostora puno je ugodnija za boravak.

Da bi se izbjegli toplinski mostovi i neželjeni toplinski gubici potrebno je izolirati cijelu vanjsku ovojnicu zgrade, uključujući i dijelove konstrukcije prema negrijanim prostorima ili prostorima s različitim režimom korištenja. Preporuča se toplinski ih izolirati s minimalno 10 cm mineralne vune ili polistirena. Završna obrada može biti žbukanjem ili oblogom gipskartonskim pločama ako se radi o unutrašnjem prostoru. Na slici 11 je prikazana izvedba toplinske izolacije poda na tlu od kamene vune [2].



Slika 11. Izvedba toplinske izolacije poda na tlu [11]

3.5. Toplinski most

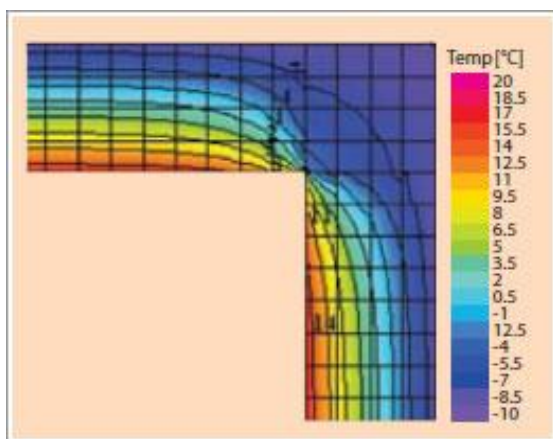
Toplinski most je manje područje u omotaču grijanog dijela zgrade (toplinska ovojnica) kroz koje je toplinski tok povećan radi promjene materijala, debljine ili geometrije građevinskog dijela. Zbog smanjenog otpora toplinskoj propustljivosti u odnosu na tipični

presjek konstrukcije, temperatura unutarnje površine pregrade na toplinskom mostu manja je nego na ostaloj površini što povećava opasnost od kondenziranja vodene pare.

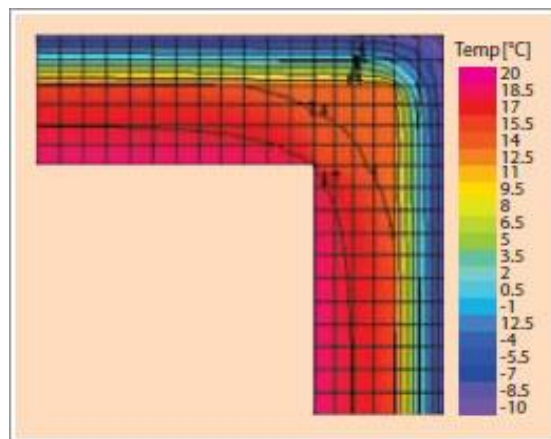
Ovisno o uzroku površine toplinske propustljivosti, razlikuju se dvije vrste toplinskih mostova:

- konstruktivni toplinski mostovi (nastaju kod kombinacija različitih vrsta materijala),
- geometrijski toplinski mostovi (nastaju uslijed promjene oblika konstrukcije, npr. uglovi zgrade).

Na slici 12 prikazan je toplinski most na neizoliranom uglu zgrade, a na slici 13 prikaz istog tog ugla zgrade nakon izvedbe toplinske izolacije [2].



Slika 12. Prikaz toplinskog mosta na neizoliranom uglu zgrade [2]



Slika 13. Prikaz istog ugla zgrade s toplinskom izolacijom [2]

Jednolični toplinski otpor vanjske ovojnice zgrade može se promijeniti uslijed:

- potpunog ili djelomičnog prodora ovojnice zgrade materijalima drugačijih svojstva toplinske provodljivosti,
- promjene debljine građe i
- razlike između unutarnje i vanjske površine, kao što se događa na spojevima zida, poda, stropa.

Posljedice toplinskih mostova su:

- promjene u toplinskim gubicima i
- promjene unutarnje površinske temperature.

Najbolji način izbjegavanja toplinskih mostova je postavljanje toplinske izolacije s vanjske strane cijele vanjske ovojnice, bez prekida te dobro brtvljenje reški i spojeva. Izgraditi zgradu bez toplinskih mostova gotovo je nemoguće, ali uz pravilno projektirane detalje toplinske zaštite utjecaj toplinskih mostova može se smanjiti na minimum.

Potencijalna mjesta toplinskih mostova su konzolne istake balkona, istake streha krovova, spojevi konstrukcija, spojevi zida i prozora, kutije za roletu, niše za radijatore, temelji i drugo. Zato na njih, pri rješavanju konstruktivnih detalja, treba obratiti posebnu pozornost.

Preporuča se u glavnom i izvedbenom projektu razraditi sve bitne detalje, osobito mjesta potencijalnih toplinskih mostova, u skladu s Tehničkim propisom o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama. Prozore treba ugraditi tako da su barem dijelom u nivou toplinske izolacije. Kutija za roletu mora biti toplinski izolirana. Toplinsku izolaciju zida treba povući do temelja, a po potrebi treba izolirati i temelj. Po završetku gradnje, kvalitetu gradnje i toplinske zaštite moguće je dodatno provjeriti termografskim snimanjem [2].

3.6. Prozori, staklene stijene i vanjska vrata

Prozor je najdinamičniji dio vanjske ovojnice zgrade, koji istovremeno djeluje kao prijemnik koji propušta sunčevu energiju u prostor te kao zaštita od vanjskih utjecaja i toplinskih gubitaka. Gubici kroz prozore dijele se na transmisijske gubitke te na gubitke ventilacijom, tj. provjetravanjem. Ako se zbroje transmisijski toplinski gubici kroz prozore i gubici provjetravanjem, ukupni toplinski gubici kroz prozore predstavljaju više od 50% toplinskih gubitaka zgrade.

Gubici kroz prozore obično su deset i više puta veći od onih kroz zidove, pa je jasno kolika je važnost energetske učinkovitosti prozora u ukupnim energetskim potrebama zgrade. U skladu s novim tehničkim propisom, koeficijent prolaska topline U za prozore i balkonska vrata može iznositi maksimalno $1,60 \text{ W/m}^2\text{K}$, dok se na starim zgradama koeficijent prozora U_w kreće od $3,00$ do $3,50 \text{ W/m}^2\text{K}$. Europska zakonska regulativa propisuje sve niže i strože vrijednosti pa se one danas najčešće kreću u rasponu od $1,40$ do $1,80 \text{ W/m}^2\text{K}$. Na suvremenim niskoenergetskim i pasivnim kućama taj se koeficijent kreće između $0,80$ do $1,40 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Danas staklene fasade u konstruktivnom i oblikovnom pogledu nude brojne mogućnosti postizanja toplinske izolacijske kvalitete kao i za kompaktni (zidani) dio ovojnice. Vanjska ovojnica koja je toplinski izolirana osigurava ugodnu temperaturu u unutrašnjem prostoru. Važno je osigurati i svjež zrak u prostoru, odnosno dovoljnu izmjenu zraka (korišteni-svjež) neovisno o klimatizaciji prostora. Ukoliko je zgrada oblikovana s više ljušaka moguće je postići transparentnost u oblikovanju, klimatehničku fleksibilnost te toplinsku i zvučnu izolaciju.

U ukupnim toplinskim gubicima prozora sudjeluju staklo i prozorski profili. Prozorski profili, neovisno o vrsti materijala od kojeg se izrađuju, moraju osiguravati:

- dobro brtvljenje,
- prekinuti toplinski most u profilu
- jednostavno otvaranje i
- niski koeficijent prolaska topline.

Stakla se danas izrađuju kao izolacijska, dvoslojna ili troslojna, s različitim plinovitim punjenjem, najčešće argonom i kriptom, te premazima koji poboljšavaju toplinske karakteristike, tzv. Low-e premazi [2].

4. ANALIZA TEHNIČKIH KARAKTERISTIKA PROJEKTA

Predmet ovog rada je glavni projekt za ishođenje građevinske dozvole, te je u nastavku dan kratak tehnički opis izgradnje obiteljske stambene zgrade (obiteljske kuće).

Obiteljska stambena zgrada je izvedena u etažama prizemlja i kata. Nosivu konstrukciju čine betonski temelji te zidovi od blok opeke. Stropna ploča iznad prizemlja je izvedena od punog armiranog betona. Krov je iznad dijela prizemlja ravni, dok je iznad kata kosi. Od ostalih elemenata toplinske ovojnice, projektiran je strop dijela prizemlja prema negrijanom tavanu, te zid kata također prema istom prostoru. Vanjski zidovi će se izolirati tzv. etics sustavom s toplinskom izolacijom od mineralne vune (MW) i završnim slojem. Vanjski prozori i vrata su izvedeni od pvc profila, izo ostakljeni. Zaštita od sunca je predviđena vanjskim roletama. Pod na tlu je ispod estriha izoliran kamenom vunom (MW), te dodatno ispod podne betonske ploče ekstrudiranim polistirenom (XPS).

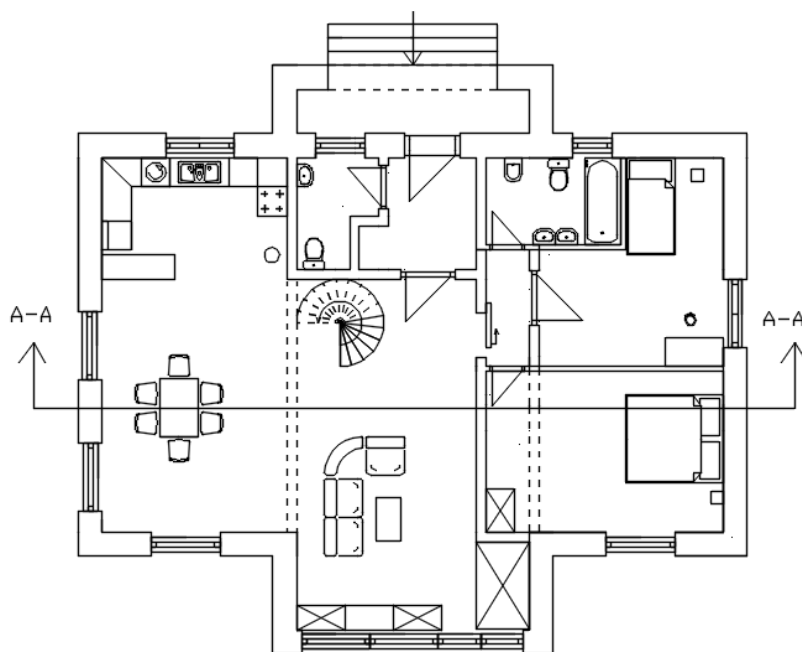
U tablici 1 je dan prikaz glavnih geometrijskih karakteristika projektirane zgrade. Detaljan izračun istih dan je u nastavku rada.

Tablica 1. Glavne geometrijske karakteristike

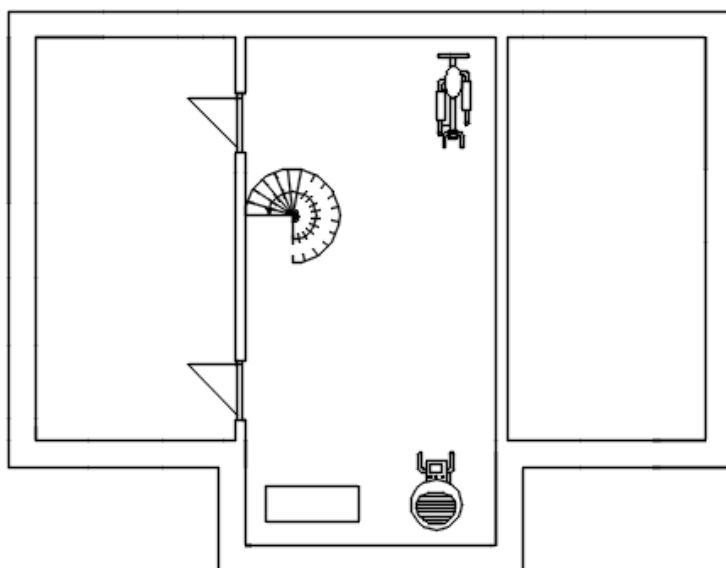
Glavne geometrijske karakteristike stambene zgrade		
Ploština korisne površine zgrade (grijane prostorije)	$A_k \text{ (m}^2\text{)}$	154,67
Oplošje grijanog dijela zgrade bez otvora	$\text{(m}^2\text{)}$	464,54
Ploština površina vanjskih otvora (prozori i vrata)	$A_w \text{ (m}^2\text{)}$	30,26
Ukupno oplošje grijanog dijela zgrade	$A \text{ (m}^2\text{)}$	494,80
Obujam (volumen)	$V \text{ (m}^3\text{)}$	534,62
Faktor oblika (A/V)	$f_o \text{ (m}^{-1}\text{)}$	0,93

Utjecaj tehnoloških rješenja za različite pasivne i niskoenergetske kuće izračunat je na arhitektonskom modelu, čija je grafika prikazana u nastavku rada. Kako bi se postigli različiti traženi energetske razredi zgrade u odnosu na promjenu debljine toplinske izolacije vanjskog zida, parametri ostalih elemenata toplinske ovojnice ostali su nepromijenjeni.

Na slici 14 je prikazan tlocrt prizemlja obiteljske kuće, koja je predmet ovog rada a na slici 15 tlocrt kata. U prizemlju se nalaze sve prostorije za svakodnevni život i boravak, dok se na katu nalazi teretana (hobby prostor), koja se koristi povremeno.

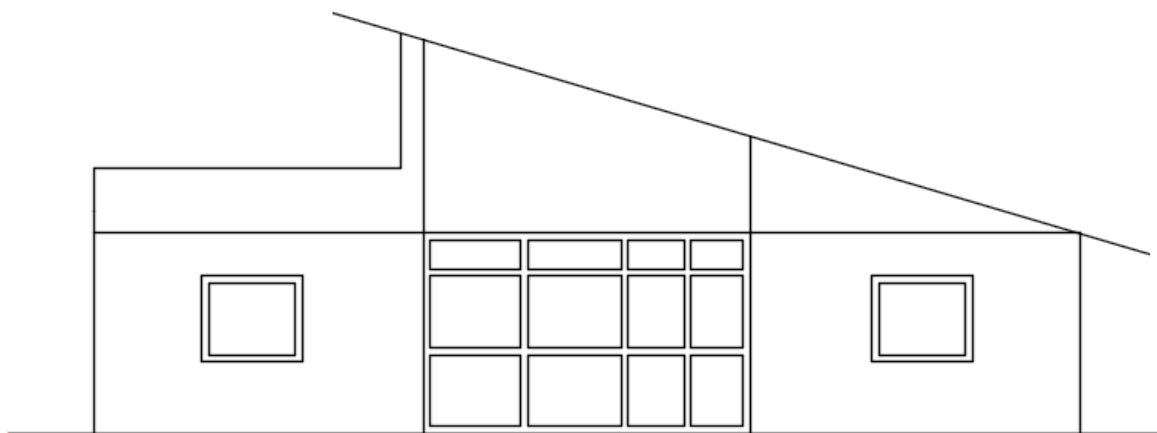


Slika 14. Tlocrt prizemlja

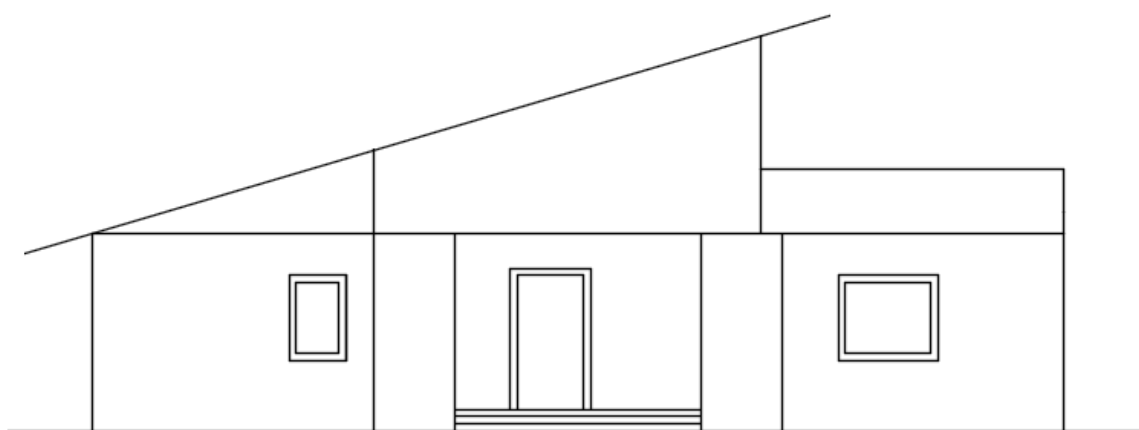


Slika 15. Tlocrt kata

Na slikama 16 i 17 prikazano je južno i sjeverno pročelje. Na južnom pročelju se nalaze veće površine otvora radi orijentacije prostorije svakodnevnog boravka prema toj strani svijeta.

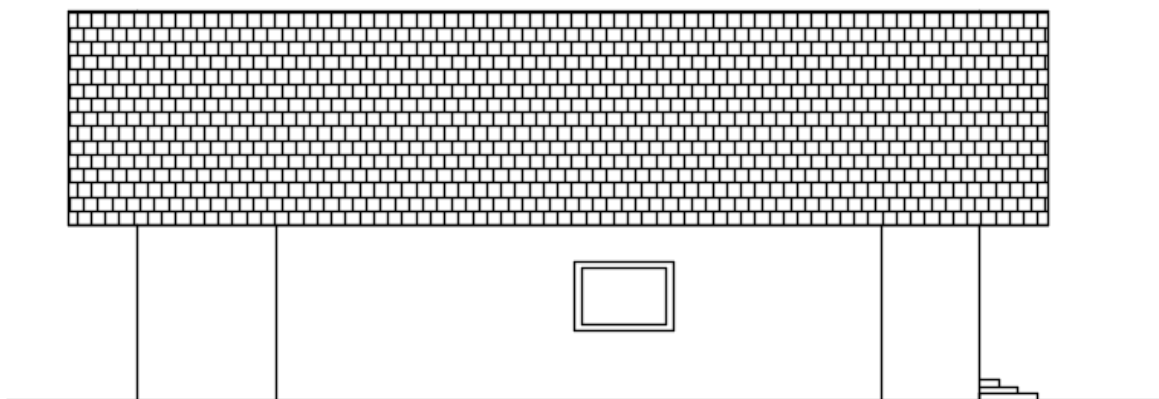


Slika 16. Južno pročelje

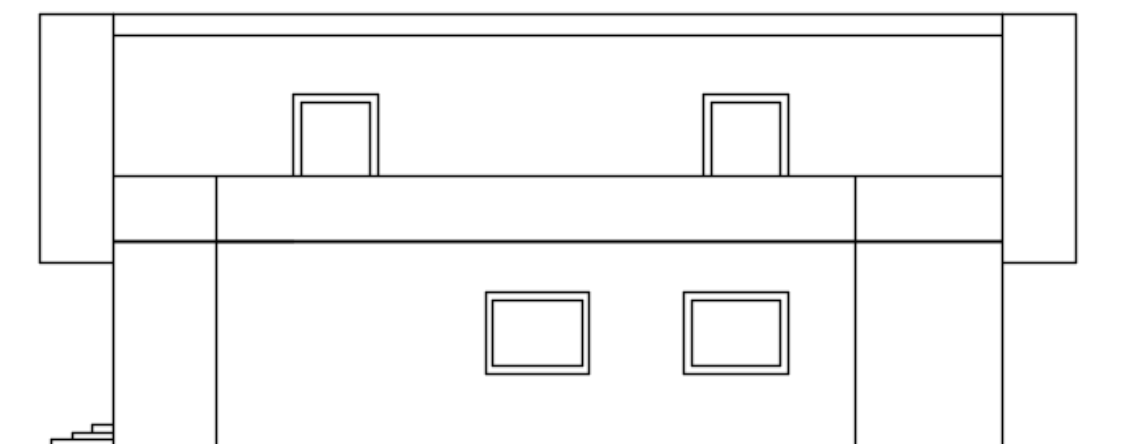


Slika 17. Sjeverno pročelje

Na slikama 18 i 19 prikazano je istočno i zapadno pročelje. Istočno pročelje ima najmanju površinu otvora. Radi se o jednom prozoru u prizemlju zgrade. Na zapadnom pročelju nalaze se otvori i u prizemlju i na katu.

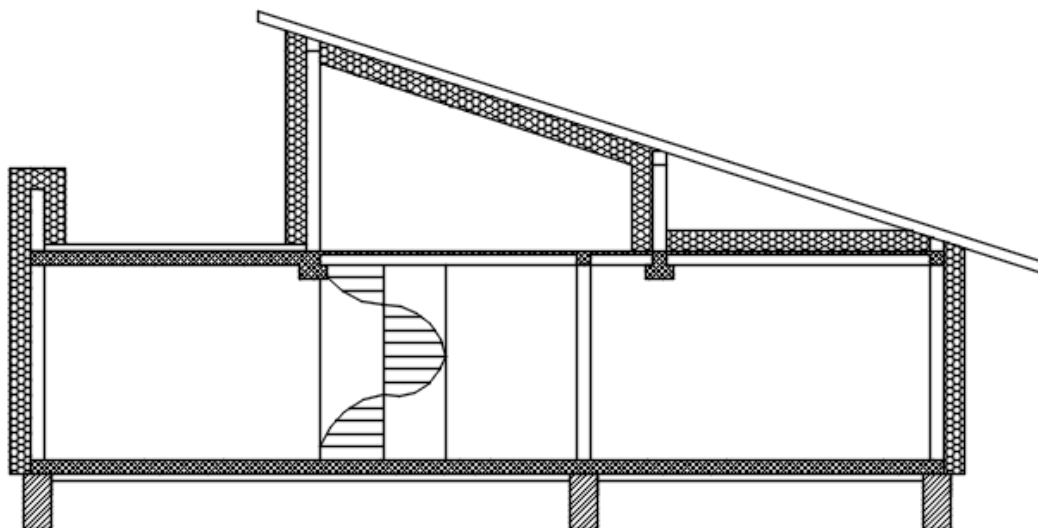


Slika 18. Istočno pročelje

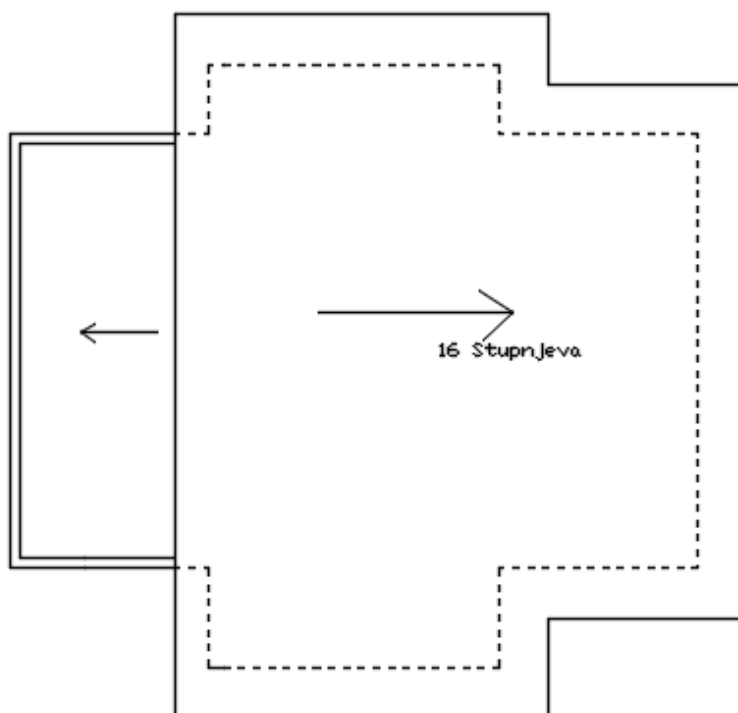


Slika 19. Zapadno pročelje

Na slici 20 je prikazan presjek A-A obiteljske kuće, a na slici 21 krov. Krov iznad dijela prizemlja je ravni, dok je iznad kata kosi. U presjeku A-A je vidljiv strop prizemlja prema negrijanom tavanu, te zid kata prema istom prostoru. Ti građevni dijelovi su pravilno izolirani prema grijanim prostorijama.



Slika 20. Presjek A-A



Slika 21. Krov

U tablici 2 je dan iskaz ploština neto površina po prostorijama, zasebno za svaku etažu i ukupno za cijelu zgradu. Površina u prizemlju iznosi ukupno 115,66 m² a na katu 75,82 m², odnosno sveukupna površina iznosi 191,48 m².

Tablica 2. *Iskaz ploština neto površina po prostorijama*

ETAŽA / Prostorija		POVRŠINA (m ²)
PRIZEMLJE		
1.	Ulazni trijem	7,50
2.	Hodnik/garderoba	4,62
3.	Wc	3,78
4.	Kuhinja	10,00
5.	Dnevni boravak /blagovanje	50,00
6.	Hodnik	3,04
7.	Kupaonica	5,69
8.	Dječja soba	13,16
9.	Spavaća soba	17,87
Ukupno:		115,66
KAT		
10.	Teretana	46,56
11.	Terasa	29,26
Ukupno:		75,82
SVEUKUPNO:		191,48

U tablici 3 je prikazan iskaz ploština neto površina grijanih prostorija (označeno crvenom bojom), te vanjskog prostora (označeno plavom bojom).

Tablica 3. *Iskaz ploština neto površina grijanih prostorija i vanjskog prostora*

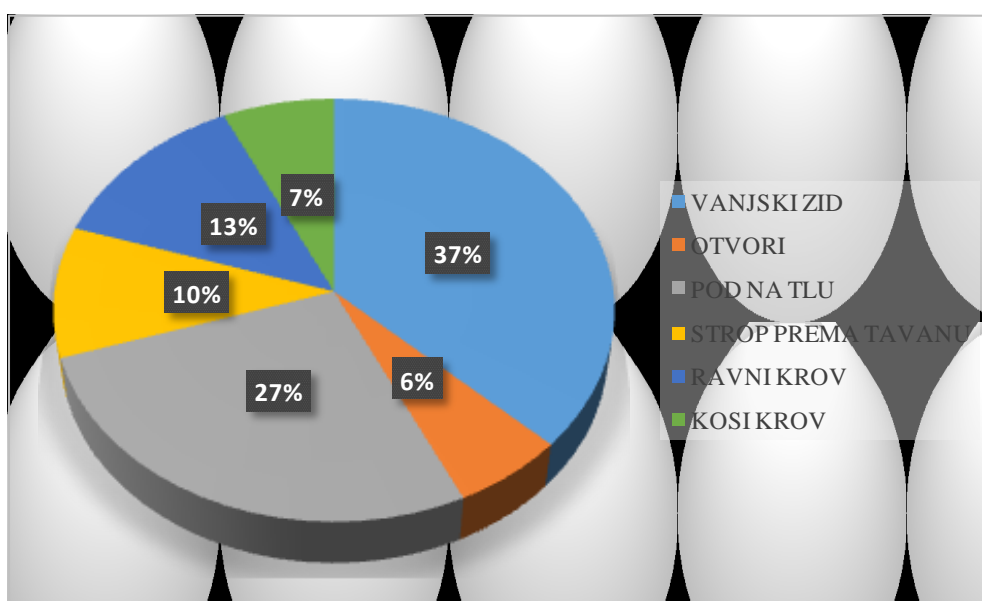
ETAŽA / Prostorija		POVRŠINA
PRIZEMLJE		(m ²)
1.	Ulazni trijem	7,50
2.	Hodnik/garderoba	4,62
3.	Wc	3,78
4.	Kuhinja	10,00
5.	Dnevni boravak /blagovanje	50,00
6.	Hodnik	3,04
7.	Kupaonica	5,69
8.	Dječja soba	13,16
9.	Spavaća soba	17,87
Ukupno grijani:		108,16
Ukupno vanjski:		7,50
KAT		
10.	Teretana	46,51
11.	Terasa	29,24
Ukupno grijani:		46,51
Ukupno vanjski:		29,24
SVEUKUPNO GRIJANI		154,67
SVEUKUPNO VANJSKI		36,74

U tablici 4 su prikazane duljine dužine izloženog opsega po stranama svijeta, koji iznosi ukupno 49,0 m. Izloženi opseg predstavlja spoj vanjskog zida i poda na tlu.

Tablica 4. Prikaz duljine dužine izloženog opsega po stranama svijeta

Orijentacija	Duljina dužine (m)
Sjever	13,80
Jug	13,80
Istok	8,70
	2,00
Zapad	8,70
	2,00
UKUPNO	49,00

Na slici 22 je prikazan udio elementa vanjske ovojnice po zastupljenim površinama. Vidljivo je da se najveći udio od 37% odnosi na vanjske zidove a udio od 27% čini pod na tlu, odnosno ukupno 64%. Preostalih 36% čine ravni krov (13%), strop prema tavanu (10%), kosi krov (7%) i otvori (6%).



Slika 22. Udio elemenata vanjske ovojnice

U tablicama 5, 6 i 7 u nastavku dan je izračun geometrijskih karakteristika, koje se odnose na bruto podnu površinu prizemlja s podom na tlu, bruto volumen (obujam) grijanog prostora i površine stropa i zida prema negrijanom tavanu.

Tablica 5. Bruto podna površina prizemlja s podom na tlu

Duljina (m)	Širina (m)	Ukupno (m ²)
13,80	8,70	120,06
5,80	2,00	11,60
UKUPNO		131,66

Tablica 6. Bruto volumen grijanog prostora

Etaža	Bruto podna površina (m ²)	Visina (m)	Ukupno (m ³)
Prizemlje	131,66	3,00	394,98
Kat	62,06	2,25	139,64
UKUPNO			534,62

Tablica 7. Površina stropa i zida prema negrijanom tavanu

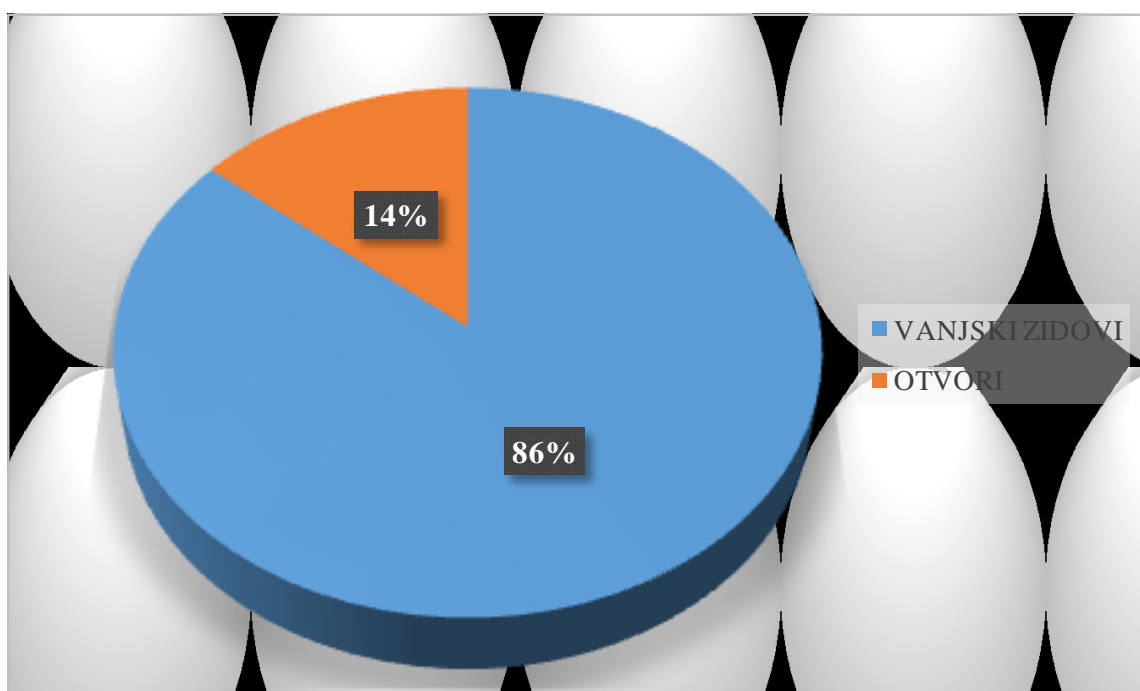
Element	Duljina (m)	Visina (m)	Ukupno (m ²)
Strop prema negrijanom tavanu	8,70	4,00	34,80
Zid prema negrijanom tavanu	8,70	1,85	16,10
UKUPNO			50,90

U tablici 8 su prikazane površine ravnog i kosog krova ispod kojih se nalazi grijani prostor.

Tablica 8. Površina krova ispod kojeg je grijani prostor

	Duljina (m)	Širina (m)	Ukupno (m ²)
Ravni krov	5,80	10,70	62,06
Kosi krov	8,70	4,00	34,80
UKUPNO			96,86

Na slici 23 je prikazan udio površine otvora u odnosu na vanjske zidove. Ploština vanjskih zidova iznosi 185,12 m² (86%) a otvora 30,26 m² (14%).



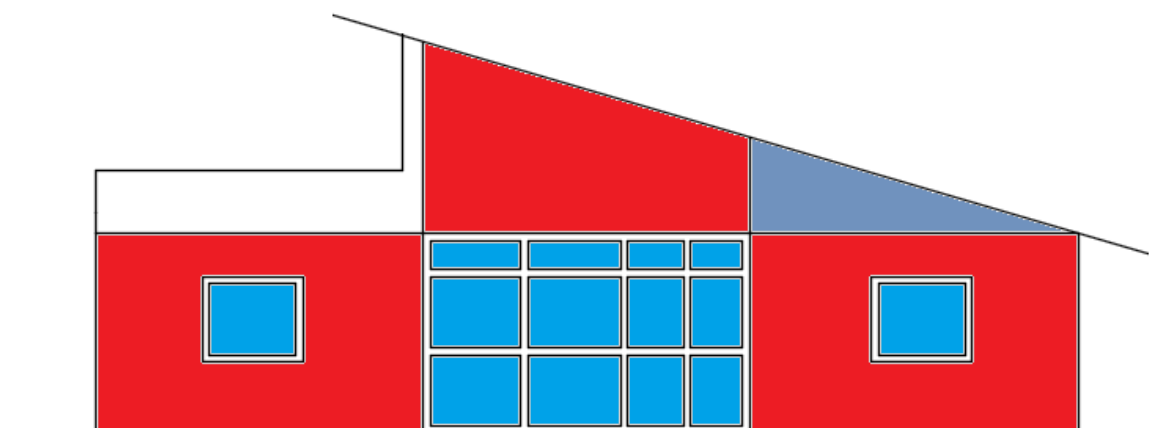
Slika 23. Udio ploštine otvora

U tablici 9 je prikazan izračun ploština elementa za južno pročelje po etažama i ukupno.

Tablica 9. Prikaz ploština elementa pročelja za jug

Orijentacija		Jug		
Element	Etaža	duljina/širina (m)	visina (m)	ukupno (m ²)
Pročelje	Prizemlje	13,80	3,00	41,40
	Kat	5,80	2,25	13,05
	Ukupno			54,45
Otvori	Prizemlje	1,20	1,40	1,68
		4,60	2,80	12,88
		1,20	1,40	1,68
	Kat	–	–	–
	Ukupno otvori			16,24
Pročelje bez otvora				38,21

Na slici 24 je prikazano južno pročelje. Crvenom bojom su označeni vanjski zidovi, tamno plavom bojom pročelje negrijanog tavana, a svijetlo plavom bojom otvori.



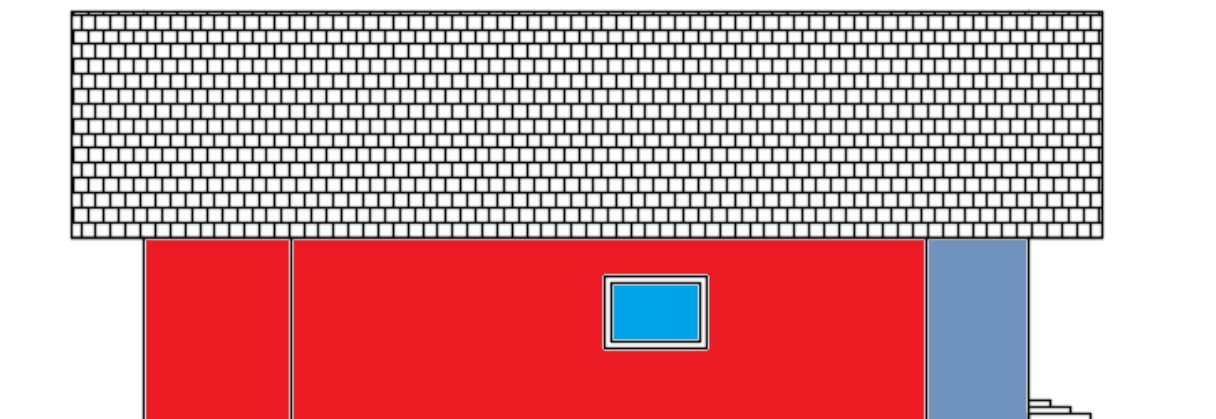
Slika 24. Južno pročelje

U tablici 10 je prikazan izračun ploština elementa za istočno pročelje po etažama i ukupno.

Tablica 10. Prikaz ploština elementa pročelja za istok

Orijentacija		Istok		
Element	Etaža	duljina/širina (m)	visina (m)	ukupno (m ²)
Pročelje	Prizemlje	12,10	3,00	36,30
	Kat	–	–	–
	Ukupno			36,30
Otvori	Prizemlje	1,00	1,40	1,40
	Kat	–	–	–
	Ukupno otvori			1,40
Pročelje bez otvora				34,90

Na slici 25 prikazano je istočno pročelje. Crvenom bojom su označeni vanjski zidovi, tamno plavom bojom pročelje ulaznog trijema (vanjski prostor), a svijetlo plavom bojom otvori.



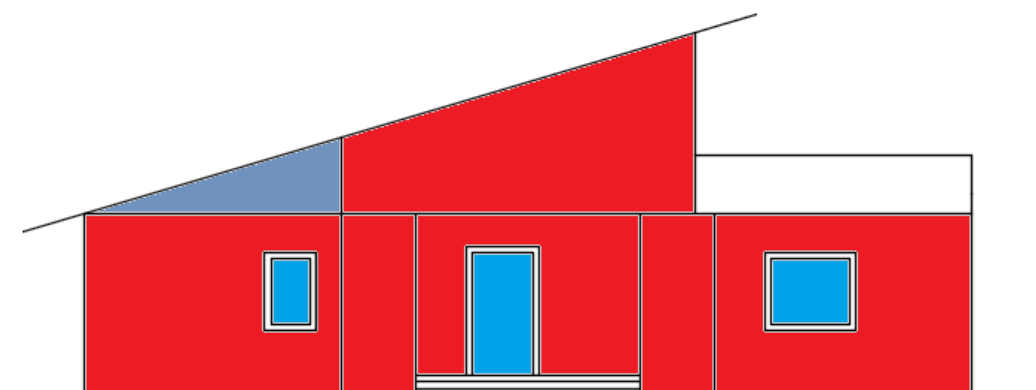
Slika 25. Istočno pročelje

U tablici 11 je prikazan izračun ploština elementa za sjeverno pročelje po etažama i ukupno.

Tablica 11. *Prikaz ploština elementa pročelja za sjever*

Orijentacija		Sjever		
Element	Etaža	duljina/širina (m)	visina (m)	ukupno (m ²)
Pročelje	Prizemlje	13,80	3,00	41,40
	Kat	5,80	2,25	13,05
	Ukupno			54,45
Otvori	Prizemlje	1,20	0,80	0,96
		1,15	2,00	2,30
		1,20	1,40	1,68
	Kat	—	—	—
	Ukupno otvori			4,94
Pročelje bez otvora				49,51

Na slici 26 prikazano je sjeverno pročelje. Crvenom bojom su označeni vanjski zidovi, tamno plavom bojom pročelje negrijanog tavana, a svijetlo plavom bojom otvori.



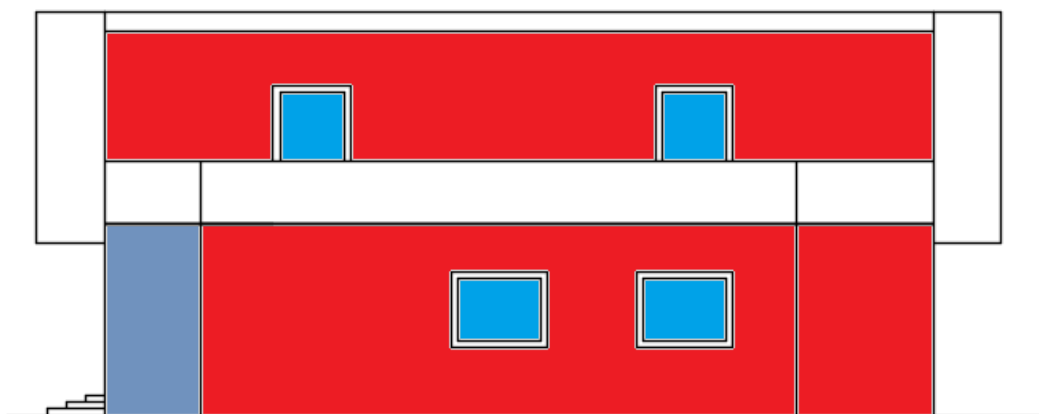
Slika 26. *Sjeverno pročelje*

U tablici 12 je prikazan izračun ploština elementa za sjeverno pročelje po etažama i ukupno.

Tablica 12. Prikaz ploština elementa pročelja za zapad

Orijentacija		Zapad		
Element	Etaža	duljina/širina (m)	visina (m)	ukupno (m ²)
Pročelje	Prizemlje	12,10	3,00	36,30
	Kat	12,10	2,80	33,88
	Ukupno			70,18
Otvori	Prizemlje	1,10	1,40	1,54
		1,10	1,40	1,54
	Kat	1,15	2,00	2,30
		1,15	2,00	2,30
	Ukupno otvori			7,68
Pročelje bez otvora				62,50

Na slici 27 prikazano je zapadno pročelje. Crvenom bojom su označeni vanjski zidovi, tamno plavom bojom pročelje ulaznog trijema, a svijetlo plavom bojom otvori.



Slika 27. Zapadno pročelje

5. FINANCIJSKE I DRUGE ANALIZE PROJEKTA

Za proračun energetske svojstva zgrade u ovom radu, korišten je programski paket KI Expert 2013 verzija 5.0.1.0. Radi se o računalnom programu za proračun toplinske zaštite i racionalnu upotrebu energije te izradu energetske certifikata zgrada. Izrađen je od strane Fakulteta organizacije i informatike Varaždin (FOI). U ovom poglavlju će biti obrađene financijske i druge analize za stambenu zgradu različitih energetske svojstva.

5.1. Financijske i druge analize stambene zgrade različitih svojstva

U tablici 13 su prikazani podaci o energetskim svojstvima zgrade, dobiveni proračunom iz programa KI Expert, i to bez izolacije vanjskih zidova i za debljine izolacije od 0 do 12 cm.

Tablica 13. Podaci o energetskim svojstvima zgrade (od 0 do 12 cm debljine izolacije)

Debljina izolacije (cm)	0	5	8	10	12
Vanjski zidovi (U) ($\text{W/m}^2 \text{ K}$)	0,95	0,40	0,30	0,26	0,22
$Q_{H,nd}$ (kWh/a)	17.142,01	9.266,30	7.828,42	7.232,30	6.791,83
$H_{tr,adj}$ ($\text{W/m}^2 \text{ K}$)	0,59	0,38	0,35	0,33	0,32
$Q_{H,nd}$ ($\text{kWh/m}^2 \text{ a}$)	110,83	59,91	50,61	46,76	43,91
Emisija CO_2 (t) $Q_{H,nd} \times 2,02 \times 10^{-4}$	3,46	1,87	1,58	1,46	1,37
Energetski razred	D	C	C	B	B
Jedinična cijena fasade (kn/m ²)	0	260,00	280,00	300,00	330,00
Trošak fasade (kn)	0	48.131,20	51.833,60	55.536,00	61.089,60
Jednostavni period povrata (broj godina)	–	14,90	13,57	13,67	14,39
JPP (broj godina) zaokruženo	–	15	14	14	15

Za izračun jednostavnog perioda povrata je korištena formula dana u nastavku. Jedinični trošak opskrbe plinom iznosi 0,41 Kn/kWh kao prosjek lokalnog dobavljača.

$$JPP = \frac{\text{površina fasade} * \text{cijena fasade}}{(Q_{H,nd0cm} - Q_{H,nd5-20cm}) * \text{cijena plina}} =$$

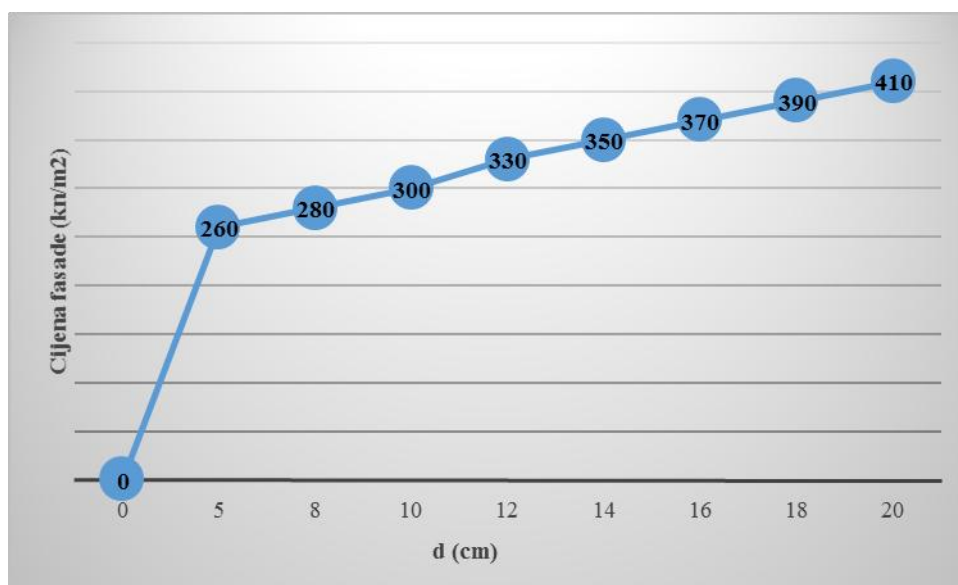
U tablici 14 (nastavak tablice 13) su prikazani podaci o energetske svojstvima zgrade, dobiveni proračunom iz programa KI Expert za debljine izolacije od 14 do 20 cm.

Tablica 14. Podaci o energetske svojstvima zgrade (od 14 do 20 cm debljine izolacije)

Debljina izolacije (cm)	14	16	18	20
Vanjski zidovi (U) (W/m ² K)	0,20	0,18	0,16	0,15
Q _{H,nd} (kWh/a)	6.456,11	6.183,61	5.968,24	5.789,99
H _{tr,adj} (W/m ² K)	0,31	0,30	0,29	0,29
Q _{H,nd} (kWh/m ² a)	41,74	39,98	38,59	37,43
Emisija CO ₂ (t) Q _{H,nd} x 2,02 x 10 ⁻⁴	1,30	1,25	1,21	1,17
Energetski razred	B	B	B	B
Jedinična cijena fasade (kn/m ²)	350,00	370,00	390,00	410,00
Trošak fasade (kn)	64.792,00	68.494,40	72.196,80	75.899,20
Jednostavni period povrata (broj godina)	14,78	15,24	15,76	16,30
JPP (broj godina) zaokruženo	15	16	16	17

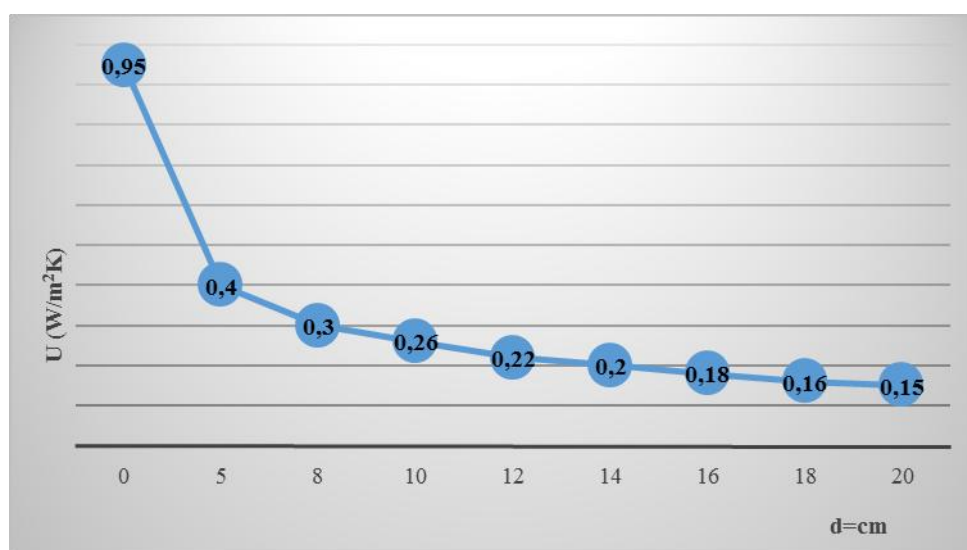
Temeljem dobivenih podataka u tablicama 13 i 14 izrađeni su grafički prikazi dani u nastavku rada, sa zapažanjima i zaključcima.

Na slici 28 je prikazan odnos debljine izolacije i troškova izvođenja fasade. Vidljivo je linearno povećanje cijene fasade s porastom debljine izolacije.



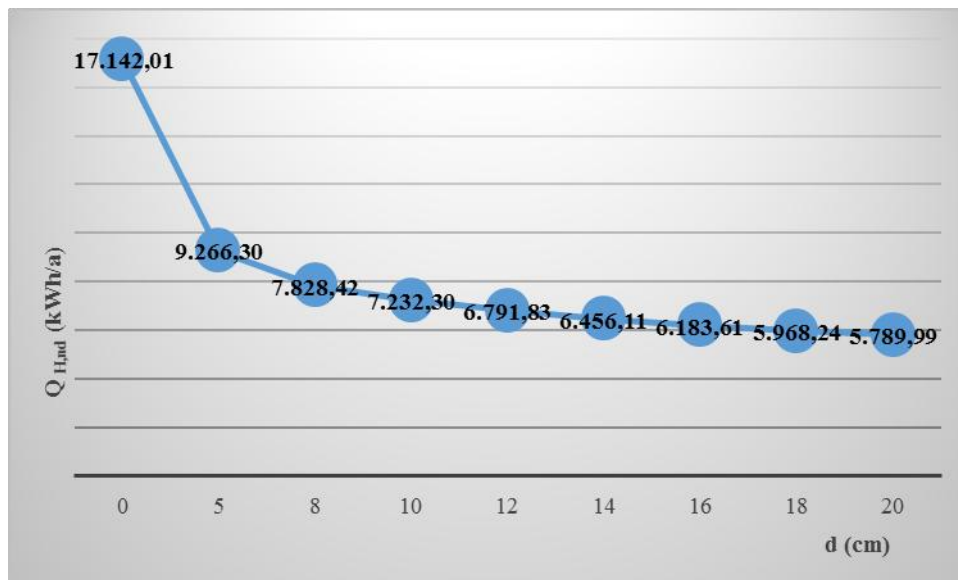
Slika 28. Odnos debljine izolacije i troškova fasade

Na slici 29 je prikazan odnos koeficijenta prolaska topline U i debljine izolacije. Vidljiva je najveća razlika između vanjskog zida bez ikakve izolacije (0 cm) i onog s minimalnom debljinom od 5 cm, koja iznosi $0,55 \text{ W/m}^2 \text{ K}$, odnosno koeficijent U se poboljšava za 58%. Daljnje povećanje debljine izolacije ne doprinosi tako značajnom porastu, ali poboljšanje u svakom slučaju raste (koeficijent prolaska toplote opada) porastom debljine izolacije.



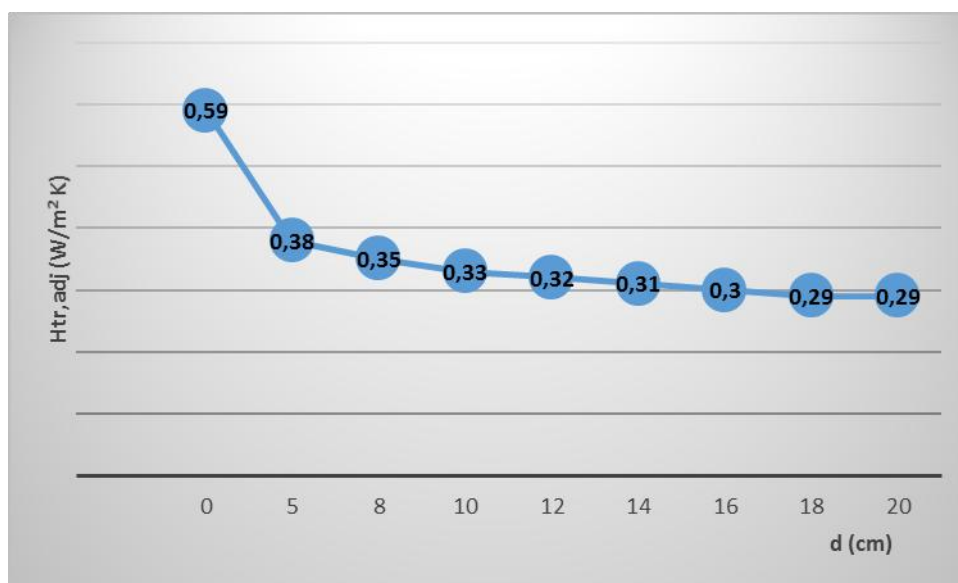
Slika 29. Odnos koeficijenta prolaska topline i debljine izolacije

Na slici 30 je prikazan odnos godišnje potrebne energije za grijanje i debljine izolacije. Razlika rezultata za zgradu bez izolacije i one s 5 cm je visokih 7.875,71 kWh/a. Primjenom jedinične cijene plina, financijska ušteda na grijanju iznosi 3.229,04 kuna godišnje.



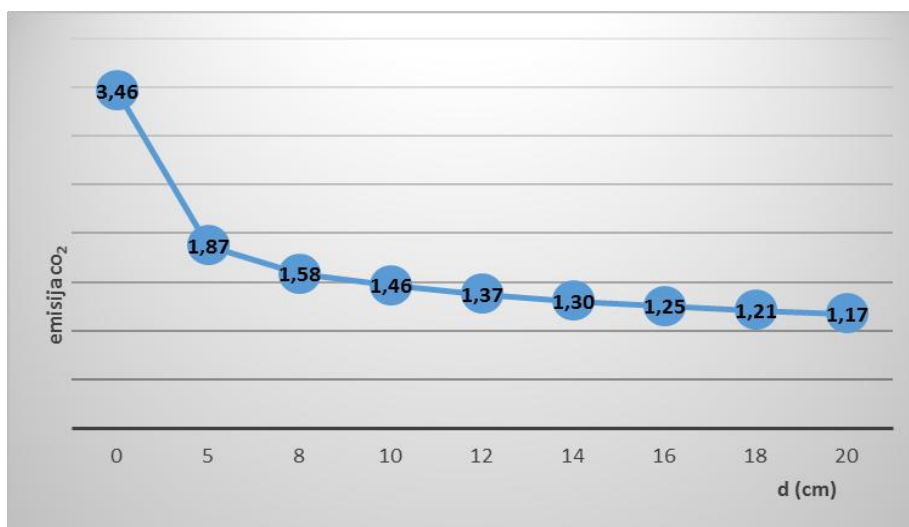
Slika 30. Odnos godišnje potrebne energije za grijanje i debljina izolacije

Na slici 31 je prikazan odnos koeficijenta transmisijskog toplinskog gubitka $H_{tr,adj}$ i debljine izolacije. Bez izolacije koeficijent iznosi $0,59 \text{ W/m}^2\text{K}$, a s debljinom izolacije od 20 cm samo $0,29 \text{ W/m}^2\text{K}$.



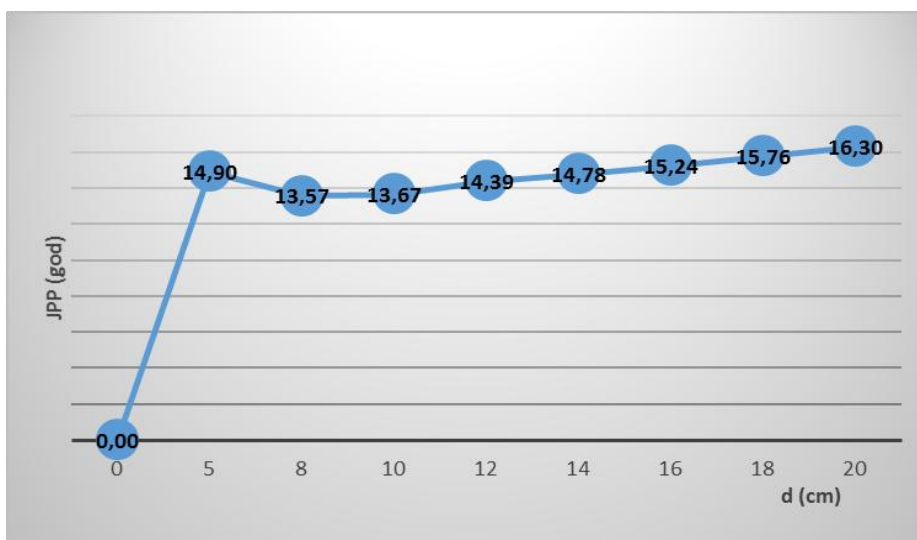
Slika 31. Odnos transmisijskog toplinskog gubitka i debljine izolacije

Na slici 32 je prikazan odnos debljine izolacije i emisije CO₂. Vidljiva je značajna razlika između zgrade bez izolacije i zgrade s izolacijom debljine vanjskog zida od samo 5 cm. Razlika iznosi 1,59 t, odnosno smanjenje je za 54%. Daljnje povećanje debljine izolacije rezultira smanjenjem emisije CO₂. Debljina izolacije od 20 cm rezultira emisijom CO₂ od samo 1,17 t, što je skoro pa 3 puta manje od iste takve zgrade bez ikakve izolacije vanjskog zida.



Slika 32. Odnos debljine izolacije i emisije CO₂

Na slici 33 je prikazan odnos debljine izolacije i jednostavnog perioda povrata. Optimalna izgradnja je debljina izolacije vanjskog zida od 8 i 10 cm. Povrat investicije u tom području iznosi zaokruženo 14 godina. Daljnje povećanje debljine pridonosi povećanju broja godina jednostavnog perioda povrata investicije.



Slika 33. Odnos debljine izolacije i jednostavnog perioda povrata

5.2. Proračun građevnih dijelova zgrade

U nastavku je dan tablični prikaz proračunatih građevnih dijelova zgrade.

Tablica 15. *Proračun građevnih dijelova zgrade*

Proračun građevnih dijelova zgrade			
Naziv građevnog dijela	A [m ²]	U [W/m ² K]	U _{max} [W/m ² K]
Vanjski zid	185,12	0,15 – 0,95	0,30
Zid prema tavanu	16,10	0,15	0,30
Pod na tlu	131,66	0,17	0,30
Strop prema tavanu	34,80	0,17	0,25
Kosi krov	34,80	0,19	0,20
Ravni krov	62,06	0,24	0,25

Tablica 16. *Proračun prema vrsti građevnog dijela (vanjski zid)*

Vanjski zid						
redni broj	Materijal	d(cm)	λ [W/mK]	μ [-]	sd [m]	ρ [kg/m ³]
1.	Vapneno-cementna žbuka	2,00	1,00	20,00	0,40	1800,00
2.	Šuplji blokovi od gline	38,00	0,45	8,00	3,04	1000,00
3.	Knauf Insulation ploča za kontaktne fasade FKD-S Thermal	od 0,00 do 20,00	0,035	1,10	0,00	100,00
4.	Silikatna žbuka	1,50	0,90	60,00	0,90	1800,00
Definiranje ploštine (m ²):			Istok		34,90	
			Zapad		62,50	
			Sjever		49,51	
			Jug		38,21	

Tablica 17. *Proračun prema vrsti građevnog dijela (zidova prema tavanu)*

Zidovi prema tavanu						
redni broj	Materijal	d(cm)	λ [W/mK]	μ [-]	sd [m]	ρ [kg/m ³]
1.	Vapneno-cementna žbuka	2,00	1,00	20,00	0,40	1.800,00
2.	Šuplji blokovi od gline	15,00	0,48	10,00	1,50	1.100,00
3.	Ekstrudirana polistir. pjena (XPS)	20,00	0,033	80,00	16,00	20,00
Definiranje ploštine (m ²)						16,10

Tablica 18. *Proračun prema vrsti građevnog dijela (strop prema tavanu)*

Strop prema tavanu						
redni broj	Materijal	d(cm)	λ [W/mK]	μ [-]	sd [m]	ρ [kg/m ³]
1.	4.01 Gipskartonske ploče	1,250	0,250	8,00	0,10	900,00
2.	Polietilenska folija 0,15 mm	0,015	0,500	334.000,00	15,00	980,00
3.	Knauf Insulation višenamjenska ploča DP 3	20,00 0	0,039	1,10	0,22	30,00
4.	Knauf Insulation paropropusna i vodonepropusna folija LDS 0,04	0,040	0,200	75,00	0,03	300,00
Definiranje ploštine (m ²)						34,80

Tablica 19. *Proračun prema vrsti građevnog dijela (pod na tlu)*

Pod na tlu						
redni broj	Materijal	d(cm)	λ [W/mK]	μ [-]	sd [m]	ρ [kg/m ³]
1.	Drvo - meko - bjelogorica	2,400	0,180	200,00	4,80	700,00
2.	Cementni estrih	5,000	1,600	50,00	2,50	2.000,00
3.	Polietilenska folija 0,15 mm	0,015	0,500	334.000,00	15,00	980,00
4.	Knauf Insulation podna ploča TPT	8,000	0,036	1,10	0,09	150,00
5.	Bitum. traka s uloškom stakl. voala	1,000	0,230	50.000,00	500,00	1.100,00
6.	Armirani beton	10,000	2,600	110,00	11,00	2.500,00
7.	Polietilenska folija 0,15 mm	0,015	0,500	334.000,00	15,00	980,00
8.	Ekstrudirana polistir. pjena (XPS)	10,000	0,033	80,00	8,00	20,00
9.	Pijesak, šljunak, tucanik (drobljenac)	30,000	0,810	3,00	0,90	1.700,00
Definiranje ploštine (m ²)						131,66

Tablica 20. *Proračun prema vrsti građevnog dijela (ravnog krova)*

Ravni krov						
redni broj	Materijal	d(cm)	λ [W/mK]	μ [-]	sd [m]	ρ [kg/m ³]
1.	3.03 Vapneno-cementna žbuka	2,000	1,000	20,00	0,40	1800,00
2.	2.01 Armirani beton	18,000	2,600	110,00	19,80	2500,00
3.	Knauf Insulation LDS 2 Silk - Parna kočnica	0,050	0,500	6300,00	3,15	400,00
4.	Knauf Insulation ploča za ravne krovove DDP	16,000	0,040	1,10	0,18	150,00
5.	5.08 Polim. hidro. traka na bazi VAE	0,150	0,140	20000,00	30,00	1300,00
Definiranje ploštine (m ²)						34,80

Tablica 21. *Proračun prema vrsti građevnog dijela (kosog krova)*

Kosi krov						
redni broj	Materijal	d(cm)	λ (W/mK)	μ (-)	sd (m)	ρ [kg/m ³]
1.	4.01 Gipskartonske ploče	1,250	0,250	8,00	0,10	900,00
2.	Polietilenska folija 0,15 mm	0,015	0,500	334000,00	15,00	980,00
3.	Knauf Insulation višenamjenska ploča DP 3	20,000	0,039	1,10	0,22	30,00
4.	Knauf Insulation paropropusna i vodonepropusna folija LDS 0,04	0,040	0,200	75,00	0,03	300,00
Definiranje ploštine (m ²)						62,06

6. ZAKLJUČAK

U radu su detaljno prikazani rezultati analize energetske učinkovite zgrade s različitim debljinama toplinske izolacije vanjskih zidova u obliku izračuna, tablica i grafova. Za primjer obiteljske stambene zgrade (obiteljske kuće) izračunata je optimalna debljina izolacije od 10 cm. U tom slučaju jednostavni period povrata investicije (JPP) iznosi 14 godina. Daljnjim povećanjem debljine izolacije povećava se i jednostavni period povrata investicije. Međutim, ne može se temeljem navedenoga zaključiti da daljnje povećanje debljine izolacije nije isplativo, jer se izračunata godišnja toplinska energija potrebna za grijanje prostora smanjuje, a samim time i troškovi. Kako je za očekivati da će cijena energije u budućnosti rasti, tako će i značajno izolirane zgrade imati brži povrat investicije.

Osim isplativosti investicije, potrebno je naglasiti i zaštitu okoliša jer se takvim načinom gradnje emitira manje CO₂ u okoliš. U primjeru u radu se uz minimalnu izolaciju vanjskog zida debljine 5 cm smanjuje emisija CO₂ s 3,46 t na 1,87 t, a s izolacijom debljine 20 cm na 1,17 t, odnosno iznosi 3 puta manje.

Nakon provedene analize odnosa troškova građenja i korištenja stambenih zgrada različitih energetske svojstva, može se zaključiti da je izgradnja energetske učinkovitih stambenih zgrada doista isplativa investicija.

Ovim istraživanjem je dokazano da je energetska učinkovitost i zaštita okoliša isplativa, ali je potrebno duže razdoblje povrata investicije uloženog novca. Međutim, na razdoblje povrata treba gledati na način da smanjenje troškova godišnje toplinske energije za grijanje počinje odmah s prvom sezonom grijanja, a učinci se odnose i na ljetni režim hlađenja i uštede u tom dijelu godine. Kako je takav način gradnje budućnost, zasigurno će biti prepoznato od strane investitora, države, pa tako i vlasnika stambenih i nestambenih zgrada.

Predmet daljnjih istraživanja može biti analiza utjecaja ostalih elemenata toplinske ovojnice zgrade (pod prema tlu, krov, strop prema negrijanom tavanu, vanjska stolarija i sl.) na potrebnu godišnju toplinsku energiju za grijanje. Isto tako predmet istraživanja može biti utjecaj povećanja cijene energije za grijanje na jednostavni period povrata investicije.

7. LITERATURA

- [1] Zakon o gradnji (NN 153/13.)
- [2] Hrs Borković, Ž.; Krstulović V.; Perović M.; Petrić H.; Prebeg F.; Vugrinec D., Zidar M. (2007.) Održiva gradnja i energetska učinkovitost“. Zagreb, Energetski institut Hrvoje Požar i Graditeljska škola Čakovec.
- [3] Zagorec, M. (2012.) „Zgradarstvo – građevinska regulativa“. U: „*Sabor hrvatskih graditelja*“ (ur. Stjepan Lakušić). Cavtat, Hrvatski savez građevinskih inženjera, str. 1065-1076.
- [4] <http://www.mgipu.hr/default.aspx?id=14520> (preuzeto 16.01.2016.)
- [5] KI Expert 2013 verzija 5.0.1.0. (preuzeto iz računalnog programa 14.01.2016.)
- [6] <http://www.opcina.punat.hr/node/184> (preuzeto 18.01.2016.)
- [7] <http://www.enu.fzoeu.hr/ee-savjeti/toplinska-zastita-objekta/toplinska-izolacija-vanjskog-zida> (preuzeto 18.01.2016.)
- [8] [http://www.rockwool.hr/proizvodi/u/2011.construction/9690/vanjski-zidovi-\(fasade\)/vanjski-zid---izolacija-s-unutra%C5%A1nje-strane](http://www.rockwool.hr/proizvodi/u/2011.construction/9690/vanjski-zidovi-(fasade)/vanjski-zid---izolacija-s-unutra%C5%A1nje-strane) (preuzeto 20.01.2016.)
- [9] <http://mojotok.info/za-dobru-atmosferu-u-vasem-domu-rockwool-protupozarna-zvucna-toplinska-izolacija/> (preuzeto 21.01.2016.)
- [10] <http://www.webgradnja.hr/clanci/ravni-krov/987/> (preuzeto 21.01.2016.)
- [11] <http://zeelena.com.hr/toplinska-izolacija-poda-na-tlu-ili-poda-iznad-otvorenog-ili-negrijanog-prostora/> (preuzeto 21.01.2016.)

Popis slika

Slika 1. Udio potrošnje konačne energije u zgradarstvu	6
Slika 2. Sistematizacija pravnih akta po važnosti [3]	7
Slika 3. Energetska obnova zgrada [4]	8
Slika 4. Energetski razredi za stambene zgrade [5]	11
Slika 5. Obnovljivi izvori energije [6]	12
Slika 6. Toplinska izolacija [7]	13
Slika 7. Izvedba toplinske izolacije vanjskog zida [8].....	15
Slika 8. Elementi vanjskog zida [5]	17
Slika 9. Izvedba toplinske izolacije krova [9].....	18
Slika 10. Izvedba toplinske izolacije ravnog krova [10]	19
Slika 11. Izvedba toplinske izolacije poda na tlu [11]	20
Slika 13. Prikaz istog ugla zgrade s toplinskom izolacijom [2]	21
Slika 12. Prikaz toplinskog mosta na neizoliranom uglu zgrade [2]	21
Slika 14. Tlocrt prizemlja	25
Slika 15. Tlocrt kata.....	25
Slika 16. Južno pročelje	26
Slika 17. Sjeverno pročelje	26
Slika 18. Istočno pročelje.....	27
Slika 19. Zapadno pročelje	27
Slika 20. Presjek A-A	28
Slika 21. Krov	28
Slika 22. Udio elemenata vanjske ovojnice	31
Slika 23. Udio ploštine otvora	33
Slika 24. Južno pročelje	34
Slika 25. Istočno pročelje.....	35
Slika 26. Sjeverno pročelje	36
Slika 27. Zapadno pročelje	37
Slika 28. Odnos debljine izolacije i troškova fasade	40
Slika 29. Odnos koeficijenta prolaska topline i debljine izolacije.....	40
Slika 30. Odnos godišnje potrebne energije za grijanje i debljina izolacije	41
Slika 31. Odnos transmisivnog toplinskog gubitka i debljine izolacije	41
Slika 32. Odnos debljine izolacije i emisije CO ₂	42
Slika 33. Odnos debljine izolacije i jednostavnog perioda povrata	42

Popis tablica

Tablica 1. Glavne geometrijske karakteristike	24
Tablica 2. Iskaz ploština neto površina po prostorijama	29
Tablica 3. Iskaz ploština neto površina grijanih prostorija i vanjskog prostora.....	30
Tablica 4. Prikaz duljine dužine izloženog opsega po stranama svijeta	31
Tablica 5. Bruto podna površina prizemlja s podom na tlu.....	32
Tablica 6. Bruto volumen grijanog prostora	32
Tablica 7. Površina stropa i zida prema negrijanom tavanu.....	32
Tablica 8. Površina krova ispod kojeg je grijani prostor.....	33
Tablica 9. Prikaz ploština elementa pročelja za jug	34
Tablica 10. Prikaz ploština elementa pročelja za istok	35
Tablica 11. Prikaz ploština elementa pročelja za sjever.....	36
Tablica 12. Prikaz ploština elementa pročelja za zapad	37
Tablica 13. Podaci o energetske svojstvima zgrade (od 0 do 12 cm debljine izolacije).....	38
Tablica 14. Podaci o energetske svojstvima zgrade (od 14 do 20 cm debljine izolacije).....	39
Tablica 15. Proračun građevnih dijelova zgrade	43
Tablica 16. Proračun prema vrsti građevnog dijela (vanjski zid).....	43
Tablica 17. Proračun prema vrsti građevnog dijela (zidova prema tavanu).....	44
Tablica 18. Proračun prema vrsti građevnog dijela (strop prema tavanu)	44
Tablica 19. Proračun prema vrsti građevnog dijela (pod na tlu)	45
Tablica 20. Proračun prema vrsti građevnog dijela (ravnog krova).....	46
Tablica 21. Proračun prema vrsti građevnog dijela (kosog krova)	46

Opis znakovlja

- A – oplošje grijanog dijela zgrade je ukupna ploština građevnih dijelova koji razdvajaju grijani dio zgrade od vanjskog prostora, tla ili negrijanih dijelova zgrade (m^2)
- A_k – ploština korisne površine zgrade je ukupna ploština neto podne površine grijanog dijela zgrade (m^2)
- A_w – ploština površine prozora je zbroj ploština prozora, balkonskih vrata i prozirnih elemenata pročelja i ukupne ploštine pročelja (m^2)
- CO_2 – godišnja emisija ugljičnog dioksida je masa emitiranog ugljičnog dioksida tijekom jedne godine koja je posljedica energetske potreba zgrade (kg)
- E – energija je sposobnost nekoga tijela ili sustava da obavi neki rad (J)
- f_o – faktor oblika zgrade jest količnik oplošja A (m^2) i obujma V (m^3) grijanog dijela zgrade (m^{-1})
- $H_{tr,adj}$ – koeficijent transmisijskog toplinskog gubitka je količnik toplinskog toka koji se transmisijom prenosi iz grijane zgrade prema vanjskom prostoru i razlike između projektne temperature u sezoni grijanja i vanjske temperature (W/m^2K)
- JPP – jednostavni period povrata je razdoblje povrata investicije (godina)
- P – ploština je geometrijski pojam kojim se mjeri veličina neke plohe (m^2)
- U – koeficijent prolaska topline je količina topline koju građevni element gubi u 1 sekundi po m^2 površine kod razlike temperature od 1 K (W/m^2K)
- V – obujam (volumen) grijanog dijela zgrade je bruto obujam, obujam grijanog dijela zgrade kojemu je oplošje A (m^3)
- $Q_{H,nd}$ – godišnja potrebna toplinska energija za grijanje za stvarne klimatske podatke je računski određena količina topline koju sustavom grijanja treba tijekom jedne godine dovesti u zgradu za održavanje unutarnje projektne temperature u zgradi tijekom razdoblja grijanja (kWh/a)
- ρ – gustoća je fizikalna veličina određena kao količnik mase (m) i volumena (V) nekog tijela ili kemijske tvari (kg/m^3)
- λ – toplinska provodljivost jednaka je količini topline koju provodi kroz jedinicu površine, u jedinici vremena, pri standardnim uvjetima, a da se pritom vrijednost temperature smanji za jedan stupanj (1 K) na jedinici puta u smjeru strujanja topline (W/mK)